



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIDURÍA SAN ISIDRO DE LA CIUDAD DE AMBATO”

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: JENNIFER JANNINA BUENAÑO PICO

DIRECTORA: ING. ROSA ELENA PINOS NEIRA

Riobamba – Ecuador

2019


©2019, Jennifer Jannina Buenaño Pico

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Yo, Jennifer Jannina Buenaño Pico declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 17 de diciembre del 2019.






Jennifer Jannina Buenaño Pico

C.I: 180450062-5

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto Técnico, **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIDURÍA SAN ISIDRO DE LA CIUDAD DE AMBATO”**, realizado por la señorita: **Jennifer Jannina Buenaño Pico**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Bolívar Flores PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2019-12-17
Ing. Rosa Elena Pinos Neira DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		2019-12-17
Ing. César Arturo Puente Guijarro MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2019-12-17

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación está dedicado a los seres más importantes en mi vida mi padre Arq. Edisson Buenaño , mi madre Sra. Rebeca Pico, mis hermanos Carolina, Edisson y Miguel quienes siempre creyeron en mí y con paciencia, amor me ayudaron a llegar a realizar mi sueño más anhelado, a mi pequeño angelito Agustín quien llevo a alegrar mi vida .

Y en especial a mi Abuelita Inés Gutierrez quien partió a un mejor lugar, pero estoy segura que desde el cielo me sigue apoyando.

Jennifer

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por cuidarme darme la fuerza necesaria para culminar mi carrera universitaria, por la sabiduría y por no dejarme desfallecer a pesar de las dificultades que se han presentado en mi camino. A mi padre Edison Buenaño quien me inspiro hacer profesional y me brindó todos los medios para culminar mi carrera universitaria. A mí a madre quien ha sido mi confidente y quien me enseñó a ser noble y tierna.

A mi hermana Psic. Alexandra Buenaño quien con sus consejos y ejemplo me impulso a seguir adelante y que todo esfuerzo tiene su recompensa. A mis hermanos Edison y Miguel Buenaño quienes con sus ocurrencias y vivencias han alegrado mi vida. A mis tíos, primos quienes siempre tuvieron palabras de aliento para mi persona.

A la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo quien me permitió formarme profesionalmente, a mis docentes de la Escuela de Ingeniería Química en especial a mi tutora Ing. Rosa Pinos N. quien me brindo sus conocimientos para la realización de mi trabajo, al Ing. Cesar Puente por orientarme en la parte técnica, Ing. Valeria Tapia por su asesoría, a la Dra. Gina Álvarez quien supo brindar su amistad y guiarme en la parte práctica del presente trabajo de titulación.

A la curtiduría San Isidro en especial a la Sra. Jimena Ullauri quien me abrió las puertas de su empresa para realizar el trabajo de titulación.

Al Sr. Eduardo Rodríguez quien nunca me negó su ayuda. A mis amigos con quienes compartí momentos de tristeza y alegría en este largo camino de la vida universitaria, Johana, Verónica S, Marcia, Verónica Q, Maribel, Lisbeth, Cristina, Jaqueline, Lenin, Edwin.

Jennifer

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
RESUMEN.....	xv
SUMMARY..	xvi
CAPÍTULO I	
1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	1
1.1 Identificación del problema.....	1
1.2 Justificación del Proyecto	2
1.3 Línea base del Proyecto	3
1.3.1 Antecedente de la Curtiduría “San Isidro”	3
1.3.1.1 Impacto ambiental generado en la Curtiduría “San Isidro”	9
1.3.1.2 Readecuación de la planta de producción Curtiduría “San Isidro”	10
1.3.2 Marco conceptual	11
1.3.2.1 Curtiembre.....	11
1.3.2.2 Proceso de curtiembre.....	11
1.3.2.3 Aguas residuales.....	16
1.3.2.4 Parámetros básicos para caracterizar aguas residuales procedentes de curtiembres	17
1.3.2.5 Tratamiento de aguas residuales procedentes del proceso de curtiembre	19
1.4 Beneficiarios directos e indirectos	22
1.4.1 Directos.....	22
1.4.2 Indirectos.....	23
CAPÍTULO II	
2 OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	24
2.1 Objetivo General	24
2.2 Objetivos Específicos	24
CAPÍTULO III	
3 ESTUDIO TÉCNICO.....	25
3.1 Localización del Proyecto	25

3.2	Ingeniería del Proyecto	26
3.2.1	Tipo de estudio	26
3.2.2	Métodos y Técnicas	26
3.2.2.1	<i>Métodos.....</i>	26
3.2.2.2	<i>Técnicas</i>	27
3.3	Toma y monitoreo de muestras	32
3.3.1	Determinación de caudal	32
3.3.2	Muestreo	32
3.3.3	Caracterización inicial de las aguas residuales procedentes de la etapa de curtido y pelambre de la Curtiduría “San Isidro”	34
3.4	Consideraciones para la tratabilidad de aguas residuales.....	36
3.4.1	Índice de biodegradabilidad.....	36
3.4.2	Pruebas de tratabilidad	38
3.4.2.1	<i>Prueba de jarras</i>	38
3.4.2.2	<i>Químicos utilizados en la tratabilidad de las aguas residuales</i>	39
3.5	Sistema de tratamiento del afluente de los procesos de pelambre y curtido.....	40
3.5.1	Agua Residual de Pelambre	40
3.5.1.1	<i>Ensayos de tratabilidad para agua de pelambre.....</i>	40
3.5.1.2	<i>Sistema de tratamiento para agua de pelambre</i>	47
3.5.1.3	<i>Eficiencia del sistema de tratamiento para agua de pelambre.....</i>	50
3.5.2	Agua Residual de Curtido.....	53
3.5.2.1	<i>Ensayos de tratabilidad para agua de curtido.....</i>	53
3.5.2.2	<i>Sistema de tratamiento para agua de curtido.....</i>	60
3.5.2.3	<i>Eficiencia del sistema de tratamiento para agua de curtido</i>	63
3.6	Diseño del sistema de tratamiento para agua residual de la Curtiduría “San Isidro”	66
3.6.1	Sistema de tratamiento para afluente del proceso de pelambre	66
3.6.1.1	<i>Cálculo de caudal</i>	66
3.6.1.2	<i>Canal de entrada a la planta de tratamiento de aguas residuales</i>	66
3.6.1.3	<i>Dimensionamiento de rejillas de limpieza manual</i>	69

3.6.1.4	<i>Dimensionamiento del tanque de aireación</i>	72
3.6.1.5	<i>Dimensionamiento de tanque sedimentador.....</i>	78
3.6.1.6	<i>Dimensionamiento de lechos de secado para lodos</i>	87
3.6.2	Sistema de tratamiento para el afluente del proceso de curtido.....	90
3.6.2.1	<i>Cálculo de caudal.....</i>	91
3.6.2.2	<i>Canal de entrada a la planta de tratamiento de aguas residuales.....</i>	91
3.6.2.3	<i>Dimensionamiento de rejillas de limpieza manual.....</i>	93
3.6.2.4	<i>Dimensionamiento de tanque homogenizador.....</i>	95
3.6.2.5	<i>Dimensionamiento de tanque de almacenamiento para agua tratada</i>	96
3.6.2.6	<i>Dosificación de policloruro de aluminio (PAC) al 2% y floculante aniónico.....</i>	98
3.7	Resultados del dimensionamiento del sistema de tratamiento para la Curtiduría “San Isidro”	100
3.7.1	<i>Resultados de diseño del sistema de tratamiento para el proceso de pelambre</i>	100
3.7.2	<i>Resultados del sistema de tratamiento para el proceso de curtido</i>	102
3.8	Proceso de producción	104
3.9	Análisis costo-beneficio del proyecto	105
3.10	Cronograma de actividades.....	108
	CONCLUSIONES.....	112
	RECOMENDACIONES.....	113
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Productos químicos utilizados por la Curtiduría “San Isidro”	8
Tabla 2-1:	Servicios utilizados por la Curtiduría “San Isidro”	9
Tabla 3-1:	Residuos sólidos generados a partir de 600 pieles, Curtiduría “San Isidro”	10
Tabla 4-1:	Parámetros organolépticos	17
Tabla 5-1:	Parámetros físicos	17
Tabla 6-1:	Parámetros químicos	18
Tabla 7-1:	Parámetros biológicos	19
Tabla 8-1:	Operaciones que abarca el pre-tratamiento	20
Tabla 9-1:	Operaciones que se efectúan en el tratamiento primario	21
Tabla 10-1:	Operaciones que se efectúan en el tratamiento secundario o biológico	22
Tabla 1-3:	Determinación de Turbiedad	27
Tabla 2-3:	Determinación de potencial de hidrógeno	28
Tabla 3-3:	Determinación de Conductividad	28
Tabla 4-3:	Determinación de Sólidos Totales	29
Tabla 5-3:	Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	30
Tabla 6-3:	Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)	31
Tabla 7-3:	Resultados obtenidos de medición de caudal de la Curtiduría “San Isidro”	32
Tabla 8-3:	Recolección de muestras de curtido y pelambre, Curtiduría San Isidro	33
Tabla 9-3:	Resultados de la caracterización del agua residual de la etapa de pelambre	34
Tabla 10-3:	Resultados de la caracterización inicial del agua residual de la etapa de curtido	35
Tabla 11-3:	Criterios de biodegradabilidad según la relación entre DBO_5/DQO	37
Tabla 12-3:	Resultados de la relación de DBO_5/DQO – Agua de pelambre y curtido	37
Tabla 13-3:	Coagulantes y floculantes utilizados en la tratabilidad del afluente	39
Tabla 14-3:	Determinación de dosis adecuada de sulfato de manganeso	41
Tabla 15-3:	Dosificación de diferentes coagulantes para agua de pelambre	43
Tabla 16-3:	Determinación de concentración de PAC 2% de pelambre. Ensayo N° 01	44
Tabla 17-3:	Determinación de concentración de PAC para agua de pelambre. Ensayo N° 0245	44
Tabla 18-3:	Dosificación de PAC y diferentes floculantes para agua de pelambre	45
Tabla 19-3:	Determinación de concentración de floculante catiónico para agua de pelambre	46
Tabla 20-3:	Resultados Finales de la Prueba de Jarras para agua de pelambre	46
Tabla 21-3:	Resultados de aireación para agua de pelambre	47
Tabla 22-3:	Resultados de dosificación con PAC y catiónico para agua de pelambre	48
Tabla 23-3:	Resultados de la caracterización final del agua tratada de pelambre	49
Tabla 24-3:	Resultados de remoción del agua tratada de pelambre	50

Tabla 25-3:	Resultados de la dosificación de cal P-24.	54
Tabla 26-3:	Dosificación de cal P-24 para el ajuste de pH.	55
Tabla 27-3:	Resultados de la selección de coagulante para agua de curtido.....	56
Tabla 28-3:	Determinación de tipo de coagulante para agua de curtido. Ensayo N° 02.....	57
Tabla 29-3:	Determinación de la concentración de PAC al 2% para agua de curtido	58
Tabla 30-3:	Determinación de tipo de floculante para agua de curtido	59
Tabla 31-3:	Determinación de concentración de floculante aniónico para agua de curtido ...	59
Tabla 32-3:	Resultados Finales de la Prueba de Jarras	60
Tabla 33-3:	Resultados de la dosificación de cal P-24	60
Tabla 34-3:	Resultados de policloruro de aluminio (PAC) al 2% y floculante.....	61
Tabla 35-3:	Resultados de la caracterización tratada procedente de la etapa de curtido	62
Tabla 36-3:	Resultados de remoción del agua tratada de curtido	63
Tabla 37-3:	Revisión de la capacidad de conducción de los canales revestidos.....	67
Tabla 38-3:	Coeficiente de rugosidad de Manning de acuerdo a Chow en canales abiertos .	68
Tabla 39-3:	Consideraciones de diseño para rejillas de limpieza manual.....	70
Tabla 40-3:	Características físico-químicas del agua residual	75
Tabla 41-3:	Valores de K para impulsores en tanques con baffles, régimen turbulento	81
Tabla 42-3:	Dimensiones recomendadas para una cámara cilíndrica	81
Tabla 43-3:	Tiempo requerido para digestión del lodo	89
Tabla 44-3:	Criterios de diseño para lecho de secado.....	89
Tabla 45-3:	Resultados de cálculo del caudal	100
Tabla 46-3:	Dimensiones del canal de entrada a la PTAR.....	100
Tabla 47-3:	Dimensiones de las rejillas de limpieza manual	100
Tabla 48-3:	Dimensiones del tanque de aireación	101
Tabla 49-3:	Dimensiones del sedimentador circular de tipo cónico	101
Tabla 50-3:	Dimensiones del lecho de secado	102
Tabla 51-3:	Resultados de cálculo del canal	102
Tabla 52-3:	Dimensiones del canal de entrada a la PTAR.....	102
Tabla 53-3:	Dimensiones de las rejillas de limpieza manual	102
Tabla 54-3:	Dimensiones del tanque de homogenización.....	103
Tabla 55-3:	Dimensiones del tanque de almacenamiento para agua tratada.....	103
Tabla 56-3:	Presupuesto de implementación de equipos	105
Tabla 57-3:	Presupuesto de productos químicos.....	107
Tabla 58-3:	Cronograma de actividades	108

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Plano de la planta de producción de la Curtiduría “San Isidro”	3
Figura 2-1:	Tanques de remojo y lavado.....	5
Figura 3-1:	Bombo de pelambre	5
Figura 4-1:	Máquina divididora	6
Figura 5-1:	Bombo de curtido	7
Figura 1-3:	Ubicación geográfica de la Curtiduría “San Isidro”	25
Figura 2-3:	Equipo del Test de Jarras	38
Figura 3-3:	Agua residual sometido a la aireación.....	42
Figura 4-3:	Agua tratada con coagulantes.....	44
Figura 5-3:	Agua tratada con floculante catiónico	46
Figura 6-3:	Agua luego de 2 h de sedimentación.....	48
Figura 7-3:	Agua residual luego de la dosificación de coagulantes	56
Figura 8-3:	Agua residual tratada con PAC y Cloruro férrico	57
Figura 9-3:	Agua residual tratada a diferentes concentraciones	58
Figura 10-3:	Agua residual tratada con PAC al 2% y diferentes floculantes.....	59
Figura 11-3:	Agua tratada con PAC y floculante.....	61
Figura 12-3:	Rejillas de limpieza manual	70
Figura 13-3:	Mezclador rápido de turbina de seis paletas planas.	81
Figura 14-3:	Lechos de secado para la deshidratación de lodos	87

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1:	Diagrama ingenieril del proceso de producción de la Curtiduría “San Isidro”	4
Gráfico 2-1:	Diagrama de la readecuación del pro de producción Curtiduría “San Isidro” ..	11
Gráfico 1-3:	Procedimiento para realizar la aireación	41
Gráfico 2-3:	Procedimiento para realizar coagulación – floculación.....	43
Gráfico 3-3:	Procedimiento para precipitar cromo.	53
Gráfico 4-3:	Resultados de la dosificación de cal P24 para ajustar el pH.	54
Gráfico 5-3:	Procedimiento para coagulación y floculación.....	55
Gráfico 6-3:	Valores del coeficiente β para rejillas	70
Gráfico 7-3:	Tanque de sedimentación primaria circular	78
Gráfico 8-3:	Propuesta del sistema de tratamiento para el afluente de los procesos de pelambre y curtido, Curtiduría “San Isidro”.	104

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo A:** TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Tabla 8
- Anexo B:** Caracterización inicial del agua residual de pelambre. Muestra 01
- Anexo C:** Caracterización inicial del agua residual de pelambre. Muestra 02
- Anexo D:** Caracterización inicial del agua residual de pelambre. Muestra 03
- Anexo E:** Caracterización inicial del agua residual de curtido. Muestra 01
- Anexo F:** Caracterización inicial del agua residual de curtido. Muestra 02
- Anexo G:** Caracterización inicial del agua residual de curtido. Muestra 03
- Anexo H:** Fulones de pelambre y curtido y muestra de afluente recolectada
- Anexo I:** Determinación de sólidos sedimentables y sulfuros, productos químicos utilizados
- Anexo J:** Caracterización del agua residual tratada de pelambre. Muestra 01
- Anexo K:** Caracterización del agua residual tratada de pelambre. Muestra 02
- Anexo L:** Caracterización del agua residual tratada de pelambre. Muestra 03
- Anexo M:** Caracterización del agua residual tratada de curtido. Muestra 01
- Anexo N:** Caracterización del agua residual tratada de curtido. Muestra 02
- Anexo O:** Caracterización del agua residual tratada de curtido. Muestra 03
- Anexo P:** Caracterización de cromo total y hexavalente del agua residual tratada de curtido
- Anexo Q:** Diagrama [PI & I] de la etapa de pelambre del S.T.A.R de la Curtiduría “San Isidro”
- Anexo R:** Diagrama [PI & I] de la etapa de curtido del S.T.A.R de la Curtiduría “San Isidro”
- Anexo S:** Diagrama [PI & I] e ingenieril del sistema de tratamiento de aguas residuales de la Curtiduría “San Isidro”
- Anexo T:** Canal de captación y sistema de rejillas para agua de pelambre
- Anexo U:** Tanque de aireación y de homogenización
- Anexo V:** Sedimentador y agitador tipo turbina de 6 palas planas
- Anexo W:** Canal de captación y sistema de rejillas para agua de curtido
- Anexo X:** Tanque de agua tratada y lecho de secado
- Anexo Y:** Documentos de la Curtiduría San Isidro

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de titulación es diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la curtiduría “San Isidro”, se inició con la caracterización de muestras de afluyente de pelambre y curtido encontrándose los parámetros de DQO, DBO₅, sulfuros, sulfatos, pH, sólidos totales y sedimentables para pelambre, cromo hexavalente, cromo total, pH, DQO, DBO₅, sólidos totales y suspendidos para curtido superan el límite máximo permisible que rige el TULSMA, Libro VI, Anexo I, Tabla 8. Para elegir el tratamiento más idóneo se determinó el índice biodegradabilidad para pelambre dio el valor de 0,72 y para curtido de 0,38 definiendo un tratamiento biológico y/o físico-químico y físico-químico respectivamente, para ello se realizó aireación durante 6 h con adición de sulfato de manganeso al 5% a una concentración de 300 ppm con el fin de oxidar sulfuros, coagulación con PAC al 2% a 70 ppm y floculante catiónico a 10ppm y sedimentación por 2 h para pelambre mientras que el agua de curtido se sometió a precipitación con cal P-24, coagulación con PAC al 2% a 40 ppm y floculante aniónico a 2 ppm y sedimentación permitiendo clarificar el agua, la eficiencia de los ensayos se verificó caracterizando el agua tratada en el que se obtuvo que la mayoría de los parámetros estaban dentro de norma, DQO y DBO₅ para los dos casos y sulfuros no entraban dentro de norma sin embargo hubo buen porcentaje de remoción. El sistema consta de: dos canales de entrada, tanque de aireación y homogenización, sedimentador, filtros de flujo ascendente y tanque de almacenamiento para agua tratada. Se recomienda recircular el agua para alimentar a los fulones de curtido y pelambre, el cual permitirá optimizar este recurso hídrico.

Palabras clave: < INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA>, <PROCESOS INDUSTRIALES>, <CURTIEMBRE>, <AFLUENTE>, <SULFURO>, <CROMO HEXAVALENTE>, <COAGULACIÓN>, <FLOCULACIÓN>, <SEDIMENTACIÓN>, <CARACTERIZACIÓN>.



SUMMARY

The objective of this degree work is to design a tannery wastewater treatment system for the "San Isidro" facility, it was initiated with the characterization of tanning and liming effluent samples, finding the parameters of COD (Chemical Oxygen Demand), BOD5 (Biochemical Oxygen Demand), sulfides, sulfates, pH, total and sedimentary solids for liming process, hexavalent chromium, total chromium, pH, COD (Chemical Oxygen Demand), BOD5 (Biochemical Oxygen Demand), total and suspended solids for tanning exceed the maximum permissible limit that are demanded in TULSMA, Book VI, Annex I, Table 8. In order to choose the most suitable treatment, the biodegradability index was determined for liming which gave the value of 0.72 and for tanning 0.38 defining a Biological and / or physical-chemical and physical-chemical treatment respectively, for this aeration was performed over 6 h with the addition of 5% manganese sulfate at a concentration of 300 ppm in order to be able to oxidize sulfides, coagulation with PAC (Poly Aluminum chloride) at 2% at 70 ppm and cationic flocculant at 10ppm, sedimentation by 2 h and filtration with granular media for liming while the tanning water was subjected to precipitation with lime P- 24, coagulation with PAC (Poly Aluminum chloride) at 2% at 40 ppm and anionic flocculant at 2 ppm, sedimentation and filtration allowing clarification of the water, the efficiency of the tests was verified by characterizing the treated water in which it was obtained that most of the parameters were within the established standard, COD (Chemical Oxygen Demand) and BOD5 (Biochemical Oxygen Demand) for both cases and sulfides did not fall within the regulation standards, however there was a good percentage of removal. The system consists of: two inlet channels, aeration and homogenization tank, sedimentation tank, upflow filters and storage tank for treated water. It is recommended to recirculate water to feed tanning and liming drums, which will optimize this water resource.

Keywords: <CHEMICAL ENGINEERING AND TECHNOLOGY>, <INDUSTRIALS>, <TANNING PROCESS>, <HEXAVALENT CHROMIUM>, <COAGUALTION>, <FLOCCULATION>, <CHARACTERIZATION>.



CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Identificación del problema

Desde épocas muy antiguas hasta la actualidad la actividad industrial del cuero, se ha considerado una de las principales prioridades realizadas por el hombre, debido a la necesidad de alimentarse y vestimenta; sin embargo, la transformación de dicha materia prima implica un gran impacto ambiental y social. (Sanz, 2011, pp. 5-10)

En la provincia de Tungurahua, principalmente en la ciudad de Ambato se encuentran la mayoría de industrias que se dedican a la curtiembre de pieles. Según un informe difundido por la Asociación de Curtidores del Ecuador (ANCE), indicó que en el año 2017 se ha procesado 1 millón de pieles en el país y de esa cantidad el 90% fue llevado a cabo en Tungurahua, además Mauricio Zurita presidente de ANCE remarca que la actividad que vienen desarrollando es muy importante para la economía de la provincia debido a que se constituye el principal proveedor de cuero de la cadena de calzado y generadora de empleo. (El Comercio, 2018)

Actualmente, uno de los principales problemas que se identifican en las industrias de la curtiembre es la generación de grandes volúmenes de efluentes líquidos y residuos sólidos (carnazas, recortes de cuero, etc.), esto como consecuencia de que para efectuar los diferentes procesos de curtiembre se requiere de elevadas cantidades de agua y posterior a ello las pieles son sometidas a diversos tratamientos químicos, los mismos que se ven asociados principalmente una cantidad considerable de materia orgánica y elevada concentración de cromo y sulfuros en las aguas residuales, transformándolo en un pasivo ambiental que genera malos olores y favorece la proliferación de vectores, provocando afectaciones a la integridad y salud de los trabajadores, población aledaña y al ecosistema; por tal razón, la descarga de efluentes y disposición final de residuos sólidos generados en la planta procesadora no debe realizarse directamente al alcantarillado y a cielo abierto sino ejecutar luego de un tratamiento adecuado. (Weitzendeld, 2016, pp. 1876-1878)

La curtiembre “San Isidro” se encuentra ubicada en la parroquia Picaihua del cantón Ambato, provincia de Tungurahua, tiene como actividad la producción de cueros y pieles adobadas. La planta procesa en un promedio de 600 pieles mensualmente, de los cuales la mayor cantidad está

destinada para la elaboración de zapatos. Pues debido a la actividad productiva que se ejecuta en la microempresa, hoy en día, uno de los problemas que la planta presenta es que los efluentes líquidos procedentes de los diferentes procesos de curtición no cumple con los límites permisibles de descarga establecido, de manera que han venido realizando directamente sin ningún tipo de tratamiento, constituyéndose perjudicial para el medio receptor al cual es descargado, ocasionando cambios drásticos de las condiciones físico-químicas y biológicas de la misma. Además, la empresa no cuenta con un plan de manejo ambiental para el aprovechamiento y disposición final de residuos.

A fin de garantizar el cumplimiento de la normativa ambiental vigente se ha visto la necesidad de realizar el diseño de un sistema de tratamiento para aguas residuales de curtiembre, el cual permita reducir los riesgos de contaminación del ecosistema y la población aledaña contribuyendo así con la gestión ambiental de la empresa y el Ambiente.

1.2 Justificación del Proyecto

En Ecuador, el tratamiento de aguas residuales industriales procedentes de las curtiembres, se ha convertido en prioridad en los últimos tiempos debido a los efectos causados por la contaminación a escala mundial, logrando el interés por mitigar los impactos provocados por las diferentes actividades antrópicas.

En los últimos años, a nivel del país y primordialmente en la provincia de Tungurahua, la industria del cuero y calzado está a la vanguardia en la innovación y la aplicación de nuevas tecnologías que permitan emplear procesos avanzados de producción a fin de reducir la contaminación, protegiendo la salud de los empleados y población en general. Gracias a la gestión de organismos gubernamentales como el Ministerio del Ambiente (MAE), Plan de manejo ambiental del GAD Municipal del Cantón Ambato, Gobierno Provincial de Tungurahua y entre otras entidades que brindan apoyo, han venido exigiendo que las pequeñas, medianas y grandes empresas deberían utilizar tecnologías limpias que permitan obtener productos de calidad sin perjudicar al ambiente y su entorno.

Por tanto, tomando en cuenta la necesidad de proteger nuestro hábitat, es importante ejecutar acciones al respecto, como el manejo adecuado tanto de efluentes líquidos y residuos sólidos generados en la planta procesadora, pudiéndose convertir los mismos en un recurso aprovechable reflejándose en beneficios económicos, sociales y ambientales; esto con el fin de reducir los riesgos de contaminación en la planta y contribuir con la política socio ambiental de la empresa

para el cumplimiento del marco legal ambiental vigente en el Ecuador.

1.3 Línea base del Proyecto

1.3.1 Antecedente de la Curtiduría “San Isidro”

La industria de curtiembre “San Isidro” es considerada una pequeña empresa, de propiedad del Sr. Julio Herrera esposo de la Sra. Ximena Ullauri, Representante Legal de la misma. Se encuentra situada en la provincia de Tungurahua, Cantón Ambato, Parroquia Picaihua, vía San Juan.

Materia prima: Generalmente en la planta han venido utilizando como materia prima las pieles de ganado bovino en estado salado o fresco, los proveedores de dicho producto son los centros de faenamiento de las ciudades de Ambato y Riobamba.

Instalaciones que posee la empresa: la planta posee una superficie aproximada de $1419,60 m^2$, pues para desarrollar las actividades de producción cuenta con una área de construcción de dos plantas de $124,53 m^2$, distribuidos adecuadamente de la siguiente forma: en la planta baja se encuentran el área de bombos con $82,53 m^2$; área de tanques de remojo con $87,50 m^2$; área de caldero con $9,50 m^2$ y finalmente el área de reservorio con $12,80 m^2$, mientras que en la planta alta está destinado para realizar los respectivos acabados y almacenamiento de los productos, además se encuentra las oficinas y departamentos de la misma. A continuación, se muestra en la siguiente figura:

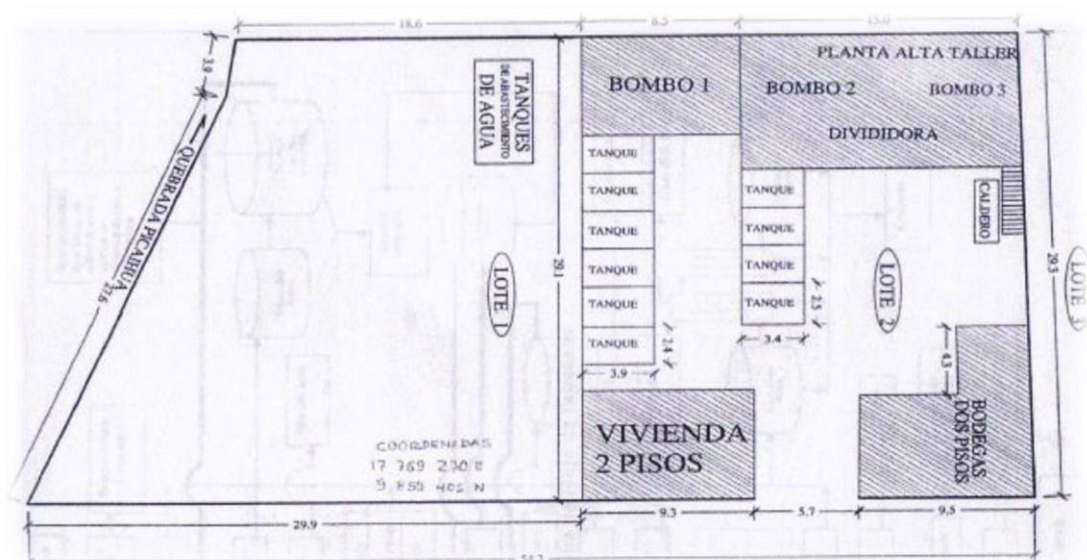


Figura 1-1: Plano de la planta de producción de la Curtiduría “San Isidro”

Fuente: Curtiduría “San Isidro”

Proceso de producción de la Curtiduría “San Isidro”

- ✓ **Capacidad de producción:** la curtiduría procesa un promedio de 600 pieles mensualmente, se efectúan por lotes o cargas, cada semana procesan 1 carga de 150 pieles, es decir al mes procesan 4 lotes, de los cuales la mayor cantidad son destinados para la elaboración de zapatos.
- ✓ **Sistema de trabajo:** el sistema de producción manejado por la empresa es un proceso discontinuo, debido a que se efectúa por lotes o cargas, a continuación, se indica la secuencia del proceso de producción, en el siguiente esquema:

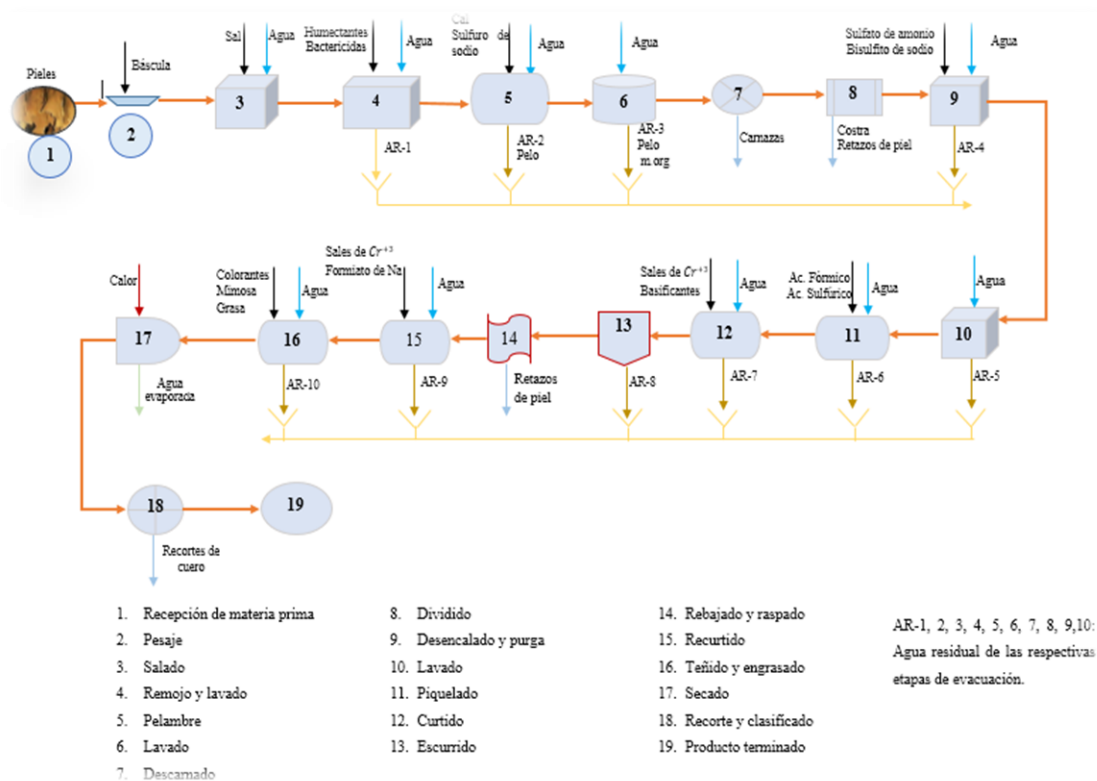


Gráfico 1-1: Diagrama ingenieril del proceso de producción de la Curtiduría “San Isidro”

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

Descripción del diagrama del proceso de producción:

1. **Recepción de materia prima:** En esta área reciben la piel, realizan una breve inspección para verificar que las pieles no estén en mal estado y finalmente toman el peso de las pieles que ingresan a la planta de manera que permita llevar a cabo el control de calidad.
2. **Salado:** comúnmente utilizan cloruro de sodio de manera que permita conservar el estado

de las pieles.

3. **Remojo y lavado:** estas operaciones realizan en tanques en el cual añaden humectantes, bactericidas y agua como vehículo principal y materia prima la piel pesada, para que la piel adquiriera la hidratación adecuada dejan durante un tiempo de 1 día, como producto de dicha operación se generan aguas residuales con sangre, grasas, sal y sólidos, tal como se indica en la siguiente figura:



Figura 2-1: Tanques de remojo y lavado
Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

4. **Pelambre:** corresponde al bombo 1 donde se efectúa la operación de pelambre para lo cual al bombo lo alimentan con piel remojada, agua, sulfuro de sodio y cal. Realizan en dos etapas, el primer día tiene un tiempo de rodamiento dentro del bombo por 4 h para que reaccione la piel y los reactivos químicos y lo dejan reposar toda la noche; al segundo día lo lavan con cal por un período de 30 min. Opera con una potencia de 12 Hp.



Figura 3-1: Bombo de pelambre
Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

5. **Lavado:** en esta operación la piel pelambrada es sometida al lavado ya que contiene productos químicos del proceso anterior y a fin de eliminar las impurezas de la piel.
6. **Descarnado:** consiste en limpiar la piel con el fin de eliminar el tejido subcutáneo y

adiposo como son carne y cebos.

7. **Dividido:** mediante la ayuda de la máquina divididora se fragmenta la piel, apoyada entre dos cilindros a través de una cuchilla en cinta (sin fin), en el que la cuchilla queda entre la parte de la carnaza y la flor. La flor corresponde a la parte externa, esta se convierte en cuero terminado; mientras que la parte debajo de la cuchilla es conocida como carnaza o cerraje, son destinados para la fabricación de gelatinas o elaboración de comida canina. La potencia del motor con la cual opera la máquina es a 20 Hp.



Figura 4-1: Máquina divididora
Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

8. **Desencalado y purga:** etapa donde se efectúa el lavado de la piel para remover la cal y sulfuro, logrando prevenir las posibles interferencias en las etapas posteriores de curtido, para llevar a cabo este proceso realizan en tanques, se añade agua, sulfato de sales de amonio al 1%, bisulfito de sodio al 0,5% y ácidos tamponados (sulfúrico, fórmico). Cuyo principal objetivo es la de eliminar el hinchamiento alcalino de la piel pelambrada.
9. **Piquelado:** consiste en la preparación química, para lo cual agregan una cantidad de agua mínima, formiato de sodio al 0,8%, sal al 6%, ácido fórmico al 2.5%, bisulfito de cromo al 6% y autobas al 1%, por un período de tiempo de 8 h, esto con el fin de eliminar de la piel la cal combinada con el colágeno logrando la interrupción definitiva del efecto enzimático y como un complemento del desencalado.
10. **Curtido:** a la piel piquelada añaden sulfato de amonio al 1.3% y bisulfito de cromo al 0,6% y realizan un rodaje por 1 h, luego de haber transcurrido ese tiempo añaden purga al 0.15% y de igual forma hacen rodaje por 40 min, después añaden sal al 0.7% y formiato al 0.5% y se somete a rodaje por 1 h, posteriormente agregan ácido sulfúrico al 1.1% y se realiza rodaje por 1.5 h, luego adicionan sales de cromo al 3% y rodaje por 1 h y finalmente adicionan basificante al 0.18% y rodaje de 1 h, una vez finalizado el proceso dejan reposar toda la noche y se desaloja el agua.



Figura 5-1: Bombo de curtido
Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

11. **Escurrido:** consiste en eliminar el agua adherida en el cuero, cabe mencionar que en la planta no realizan esta operación, pues para ello son enviados a otras instalaciones en el que este proceso se demora un día.
12. **Rebajado y raspado:** cabe indicar que el proceso de rebajado no se realiza en la empresa ya que en la planta no existe el equipo requerido.
13. **Recurtido:** la piel curtida es enviada al fulón de curtido donde se efectúa la etapa de recurtido, para lo cual se añade agua, bisulfito de cromo al 1%, formiato de sodio al 0.5% y sales de cromo y es sometido a rodaje durante 1 h. Proceso que permite conseguir un cuero con mejores cualidades, compacidad de la estructura, firmeza y finura de flor.
14. **Teñido y engrasado:** consiste en brindar coloración y lubricación a la piel. Para el caso del teñido, la piel recurtida reacciona con agua al 100%, ácido fórmico al 0.5%, humectante al 0.1% y a esta mezcla se le deja rodar el fulón por 30 min, luego se añade anilina en un 10%, bisulfito de cromo al 3% y formiato al 0.5% y se somete a rodaje durante 1 h, para lo cual la temperatura debe alcanzar a 40°C, permitiendo al cuero una coloración determinada y requerida.

Para el engrase añaden mimosa al 2%, quebracho al 2% y esta mezcla es sometida a rodaje por un tiempo de 1 h y posteriormente se agrega ácido fórmico haciendo rodar 20 min. Cuyo objetivo es mantener las fibras de la piel separadas y lubricadas, de manera que garantice obtener un cuero flexible y suave.
15. **Secado:** las bandas que provienen de la etapa de teñido son extendidas y secadas por radiación solar durante un tiempo de 18 h dependiendo de las condiciones climáticas.
16. **Recorte y clasificado:** los cueros deben adquirir las dimensiones adecuados para ser comercializados y se clasifican según el aspecto de su superficie externa: en primeras, segundas, terceras y rechazos.

17. **Producto terminado:** se obtiene el cuero que puede ser destinado para la elaboración de zapatos.

Tabla 1-1: Productos químicos utilizados por la Curtiduría “San Isidro”

PROCESO	INSUMO		CONSUMO
Ribera	Descripción		% Referido al peso de la piel cruda
	Cal		4.5
	Sulfuro de sodio		1.5
	Enzimas de remojo		1.0
	Tensoactivos		-
	Depilantes		-
Curtido	Descripción		% Referido al peso de piel dividida
	Desencalantes	Sulfato de amonio	1.0
		Bisulfito de sodio	0.3
	Rindentes (Purga)	Purga-PIO	0.15
	Tensoactivos		-
	Sal		7.0
	Ácido fórmico		0.5
	Ácido sulfúrico		0.9
	Sulfato de cromo		6.0
	Grasa	Anderoil FR 7 (sintética, sulfatada)	0.10
	Basificantes		0.50
Post-curtido (teñido)	Descripción		% Referido al peso de cuero curtido rebajado
	Neutralizantes	Neutrasal	0.50
		Sulfato de cromo	1
		Formeato	1
	Recurtientes (minerales, vegetales, sintéticos, sustitución)		-
	Grasa	Anderoil FR7 (sintética, sulfatada)	8.00
		Anderoil VT 1 (Esterfosforico Napa)	8.00
	Colorantes	Anderpig Negro Bte Plus Concentrado	0.50
	Ácido fórmico		0.50

Fuente: Curtiduría “San Isidro”

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

Tabla 2-1: Servicios utilizados por la Curtiduría “San Isidro”

Recurso	Consumo		Abastecimiento
Agua	Ribera	1920 (l/T piel)	Curtiduría San Isidro cuenta con la autorización otorgado por la Secretaría del Agua para el uso y aprovechamiento del agua de tipo industrial, para el procesamiento de pieles.
	Curtido	1800 (l/T piel)	
	Post-curtido	1200 (l/T piel)	
	Acabado	200 (l/T piel)	
Energía eléctrica	2450 kW/h al mes		Red pública
Aceite motor	25 litros/mes		Casa comercial
Grasa	15 kg/mes		

Fuente: Curtiduría “San Isidro”

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

1.3.1.1 Impacto ambiental generado en la Curtiduría “San Isidro”

En la Curtiduría San Isidro, como resultado del procesamiento de pieles se genera un gran impacto ambiental, ocasionando la generación de efluentes líquidos, residuos sólidos y gases tóxicos provenientes de los diferentes procesos,

✓ Residuos líquidos generados en la producción de cuero

El agua es el recurso más utilizado en los procesos de curtiembre, puesto que para adquirir 1 kg de cuero se requiere de 30-35 litros de agua dando lugar a la generación de grandes volúmenes de aguas residuales, particularmente las etapas de lavado, pelambre y curtido con elevada carga contaminante alterando la composición de la misma. (Ochoa y otros, 2017). En la planta, las descargas del afluente de los diversos procesos lo realizan sin previo tratamiento al sistema de alcantarillado de la localidad.

✓ Residuos sólidos que se generan en la producción de cuero

Dentro del proceso de producción de cuero se genera residuos sólidos específicamente de los procesos de descarnado, dividido, rebajado y recortes, mismos que tienen diferentes destinos tal como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 3-1: Residuos sólidos generados a partir de 600 pieles, Curtiduría “San Isidro”

Proceso	Tipo de residuo	Peso (kg)	Disposición final
Descarnado	Carnazas	257	Dispuesto en el relleno sanitario de la localidad.
Dividido	Retazos de piel, carnazas.	943	Empleado en la producción de guantes industriales.
Rebajado	Virutas de cuero	31	Dispuesto en el relleno sanitario.
Recortes	Pedazos de cuero	13	Dispuesto en el relleno sanitario
Total		1244	De un total de 600 pieles procesados al mes.

Fuente: Curtiduría “San Isidro”

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

Se considera que una piel en promedio pesa 12 kg y al procesar 600 pieles mensualmente se tiene 7200 kg de piel a procesar, de los cuales se genera 1244 kg de residuos sólidos al mes, tal como se indica en la tabla 3-1 en donde se especifica de cada una de las etapas. En su mayoría los residuos sólidos generados en la curtiembre “San Isidro” son destinados a la producción de guantes y el resto son destinados en el relleno sanitario mediante el sistema de gestión de residuos sólidos de la municipalidad, sin embargo, este desecho requiere un tratamiento especial debido a que contienen sales de cromo trivalente.

Por lo que, para efectuar el tratamiento existen diferentes tecnologías que permiten aprovechar y valorizar los residuos, dentro de ellos se tiene la descurtición de virutas de cromo al emplear la hidrólisis alcalino-enzimática dando lugar a dos productos como son el hidrolizado proteico y el precipitado de hidróxido de cromo que pueden ser utilizados en la misma industria en los procesos de post-curtición. (Jordán, 2011, pp. 16-25)

1.3.1.2 Readecuación de la planta de producción Curtiduría “San Isidro”

Con el fin mejorar la calidad de producción, evitar tiempos muertos y trabajos innecesarios se recomienda que se realice una readecuación de la distribución de los procesos de producción ya que en la actualidad dichos procesos no se encuentran de forma adecuada, para lo cual se realizó un nuevo diagrama de producción en el que se analizó que las etapas o procesos de producción se realicen en secuencia tal como se indica en el gráfico 2-1, permitiendo así que la producción se lleve a cabo de forma eficiente y el producto final obtenido sea de la más alta calidad, de manera que permita a la empresa ser reconocida y competitiva a nivel nacional por brindar artículos de cuero aplicando una producción limpia y tecnológica. A continuación, se indica el diagrama del proceso de producción readecuado:

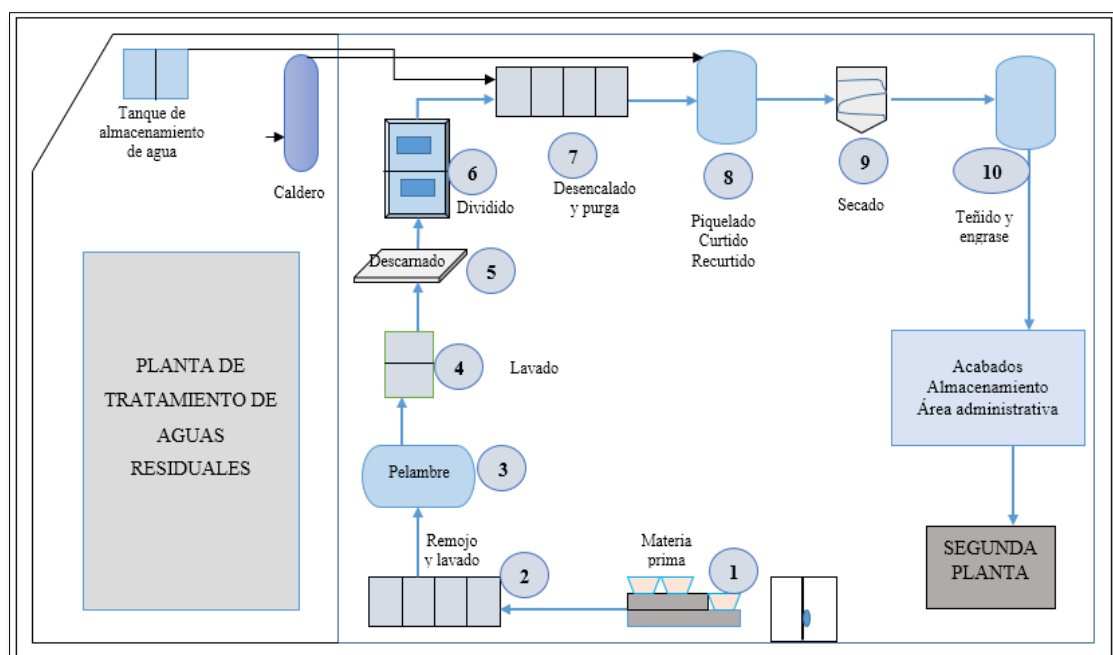


Gráfico 2-1: Diagrama de la readecuación del proceso de producción Curtiduría “San Isidro”
Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

1.3.2 Marco conceptual

1.3.2.1 Curtiembre

Empresa que se dedica a la transformación de pieles de animales (bovinos, ovinos, caprinos, etc.) sean estas frescas o saladas en material denominado cuero, mismos que son utilizados para la fabricación de una variedad de productos terminados a base de cuero como: zapatos, maletas, carteras, chompas, correas. (Moya, 2016, p. 33) (Lombeida, 2017, p. 22)

1.3.2.2 Proceso de curtiembre

El proceso productivo está distribuido en 4 etapas importantes que son: ribera, curtido, pos-curtido y acabado.

✓ Ribera

Etapla en el que se lleva a cabo la preparación y acondicionamiento de las pieles a fin de conseguir la humedad e hinchamiento adecuado para la etapa de curtido. Dentro de esta etapa se encuentran las siguientes operaciones: recepción de pieles, lavado, remojo, pelambre, descarnado y dividido.

Recepción de pieles: Consiste en recibir y clasificar las pieles de acuerdo a su calidad, de modo

que se verifique tamaño, peso, defectos o daños de la piel, debido que a la mayoría de las industrias suelen llegar pieles secas saladas, frescas saladas y frescas sin acondicionamiento, este último para su preservación requiere de la operación de salado, comúnmente en las plantas utilizan cloruro de sodio o sal común. (Moya, 2016, p. 36)

Lavado: etapa en el que las pieles son alimentadas en bombos o fulones y mediante el uso de agua permite remover, lavar y limpiar materiales extraños tales como: sangre, sal, estiércol y microorganismos presente en las pieles, para que el proceso sea eficiente se emplean detergentes.

Remojo: las pieles son sumergidas en una solución de hidróxido de sodio, tensoactivos y agua con la finalidad de restaurar la humedad perdida, y que las pieles consigan mayor flexibilidad y blandura. A fin de proteger del ataque microbiano suelen recomendar el uso de bactericidas con un control estricto de pH (que varíe entre 9-10), el cual permitirá conservar las pieles durante mucho tiempo. (Bustos, 2012, p. 33)

Pelambre: las pieles son sumergidas en bombos, para efectuar esta etapa se requiere agregar agua, sulfuro de sodio y cal, durante 4 horas en movimiento y reposo durante un día y posterior a ello es lavado durante un período de 30 minutos. Esta operación tiene dos finalidades: facilitar la eliminación de la epidermis con el pelo y la lana de la piel y la hidrólisis del colágeno generando una blandura de la estructura fibrosa del colágeno, de manera que se logre prepararla para la etapa de curtido mediante un hinchamiento higroscópico ocasionado por el hidróxido de calcio. (Moya, 2016, p. 38) (Amagandi, 2016, p. 30)

El agua residual que se descarga de este proceso es de grandes volúmenes, y se puede considerar que el 50% del total del agua que se vierte en una curtiembre es procedente de esta etapa, el agua generada contiene elevada concentración de carga contaminante y su pH oscila entre 12 a 14.

Descarnado: es la operación cuyo objetivo principal es separar y eliminar restos de carne, grasa subcutánea y tejido conectivo adheridos en la piel, con el propósito de facilitar la penetración de los productos químicos en las etapas posteriores. Para que la limpieza sea más fácil se puede utilizar una descarnadora mecánica.

Dividido: mediante la ayuda mecánica de cuchillas permite fragmentar las pieles en dos capas llamadas flor (parte externa) y carnaza o cerraje (parte interna) con la finalidad de lograr el calibre o grosor requerido. Siendo la parte externa usada para cualquier tipo de cuero, calzado, tapicería de autos y muebles, mientras que, la parte inferior genera alrededor de un 40% de residuo, mismo que es destinado para la elaboración de comida canina y empleado como materia prima en la

fabricación de gelatinas. (Bustos, 2012, pp. 34-35) (Amagandi, 2012, p. 36)

La ventaja de esta etapa permite absorber con facilidad los reactivos químicos utilizados para la etapa de curtido.

✓ **Curtido**

Comprende una serie de operaciones, para que el cuero en tripa adquiriera su estabilización y conservación a fin de brindar productos de calidad sin alterar la composición de la misma.

Desencalado: operación cuyo objetivo es el de remover, eliminar y lavar el calcio, sulfuro y productos alcalinos impregnados en la piel con el objetivo de prevenir posibles interferencias en las etapas siguientes (Bustos, 2012 p. 35) (Moya, 2016 p. 40). Para ello es necesario la utilización de agentes químicos tales como: sales de amonio al 1%, ácidos orgánicos tamponados (sulfúrico y fórmico) y el bisulfito de sodio al 0.5% con los siguientes propósitos:

- Detener el hinchamiento alcalino de la piel pelambrada mediante la acción de neutralización, incremento de temperatura y efecto mecánico.
- Los respectivos ácidos permiten estabilizar el colágeno y también para desencalar.

Purgado: proceso que utiliza enzimas proteolíticas como la tripsina para conseguir el aflojamiento y ligera peptización de la estructura del colágeno, y mediante el uso de cloruro de amonio permite la limpieza de la piel de restos de pelo, epidermis y grasa. Según Moya (2016, p.12) indica que en las industrias usualmente emplean enzimas pancreáticas y/o bacterianas, con el objetivo de que la piel este constituida únicamente de proteína colágena.

Piquelado: consiste en acidificar la piel por medio del uso de ácidos (sulfúrico y/o fórmico), mismos que contribuyen sus protones para que se enlacen con los grupos carboxílicos, de modo que el curtiente se fije en las capas externas del colágeno. Cuyo objetivo es la de eliminar la cal combinada con el colágeno de la piel y conseguir que el valor de pH oscile entre 2,8-3,5 para la etapa de curtido. Además, cabe indicar que para detener el hinchamiento ácido de la piel se emplea cloruro de sodio, el cual impide las reacciones enzimáticas procedentes del purgado. (Bustos, 2012, p. 36) (Moya, 2016, p.41)

Previo a la etapa de curtido es necesario lavar las pieles por un tiempo de 20 minutos utilizando agua y llevar a cabo el escurrido por 20 minutos.

Curtido: es el proceso de transformar la piel en cuero no putrescible mediante la utilización de agentes curtientes, los mismos que una vez reaccionado se quedan impregnados en las fibras de colágeno hasta estabilizar la proteína de la piel con el propósito de prevenir la descomposición bacteriana y agentes externos, así también que resista elevadas temperaturas. Esta etapa se puede efectuar mediante dos métodos: curtido con cromo (utilizando sales de cromo) y curtido vegetal (empleando taninos vegetales); en la curtiduría “San Isidro” utilizan sales de cromo comercial. (Lombeida, 2017, pp. 25-26) (Moya, 2016, p. 42)

En las industrias de curtiembre el cromo es utilizado con mayor frecuencia, debido a que brinda características específicas de estabilidad y resistencia en productos terminados, pero sin embargo es el que genera mayor contaminación al ambiente, siendo perjudicial para la salud de las personas.

Wet Blue: denominado así por el color azul verdoso que presenta, como consecuencia por la presencia del sulfato de cromo utilizado en la etapa de curtido, el cual se queda impregnado en el cuero.

✓ **Post-curtido**

Es un proceso que brinda características especiales tales como: elasticidad, textura y blandura al cuero. Se efectúan las siguientes sub-etapas:

Escurredo: etapa cuyo objetivo es disminuir el exceso de agua presente en el cuero azul (wet blue) para que el cuero no resbale en el proceso de rebajado.

Rebajado: consiste en disminuir el calibre del cuero, a fin de conseguir un espesor uniforme y definido para el artículo final que se destine; como producto de este proceso se genera un residuo llamado aserrín de cromo (puede contener Cr^{+3}), resultado de un curtido mineral. Para ello, es necesario una persona muy cualificada, puesto que de este proceso dependerá la calidad y uniformidad del cuero. (Amagandi, 2016, p. 36) (Moya, 2016, p. 43)

Neutralizado: operación cuya finalidad es la de disminuir la acidez del cuero al eliminar sales neutras, sales de cromo sin fijar y la acidez presente. Esto con el propósito de evitar que el cuero no se deteriore, corrosión de materiales y proteger la salud de los trabajadores y clientes puesto que al estar en contacto directo podría ocasionar irritaciones en la piel.

También facilita la penetración de insumos químicos aniónicos tales como: recurtientes, colorantes y aceites utilizados en las etapas de recurtido, teñido y engrase.

Recurtido: proceso que implica en tratar el cuero con productos químicos, de manera que se pueda conseguir cueros que brinden características como: blandura, firmeza, resistencia física, finura; además facilita la igualación de tintura y permite incrementar aún más la temperatura de contracción con los productos que acabarán de curtir totalmente la piel. En este proceso como agentes curtientes se utiliza bisulfito de cromo al 1 % y formiato de sodio al 0,5% durante un tiempo de rodaje de 1 hora. (Lombeida, 2017, p.28) (Moya, 2016, p. 44)

Teñido: proporciona a las pieles recurtidas una coloración definida, que brindará mayor visibilidad a todas las partes del cuero y mejorará su aspecto. Se efectúa en fulones o bombos dependiendo del método y tipo de tintura a emplear, generalmente suelen utilizar colorantes cuya composición son óxidos metálicos.

Engrase: mediante la incorporación de materias grasas (solubles o no en agua) en el cuero permite lubricar las fibras de la piel, de manera que puedan deslizarse sencillamente unas en relación con otras, logrando así, un cuero más flexible y blando. Cabe indicar que al momento de engrasar sus propiedades tienden a modificarse, permitiendo un aumento a la resistencia al desgarró, alargamiento e impermeabilidad al agua. (Lombeida, 2017, p. 28) (Moya, 2016, p. 44)

✓ **Acabado**

Para obtener un producto listo para su comercialización se requiere de una serie de operaciones, que a continuación se detallan.

Secado: el objetivo principal es la eliminación por completo de la humedad que se encuentra presente en el cuero, de manera que se pueda obtener un producto final estable con un valor que oscile entre 14-15% de humedad. En la actualidad, se puede emplear diferentes métodos de secado, según la disponibilidad de economía de las empresas, realizándolo desde lo más sencillo por medio de secado natural (mediante rayos solares) hasta secadores industriales (contacto directo con aire caliente). El tiempo de secado depende del método a emplear. (Geankoplis, 1998, p. 579) (Moya, 2016, pp. 45-46)

Acondicionamiento: tiene por objetivo rehumedecer uniformemente las superficies del cuero, de manera que se pueda conseguir una humedad que varíe entre 28-30%, valor adecuado para impedir que las fibras no se rompan fácilmente al ser sometidas a procesos posteriores. Cueronet,

señala que el tiempo de este proceso varía de 6, 8, 12 incluso hasta 24 horas. (Cueronet) (Moya, 2016, p. 46)

Pintado: consiste en proporcionar el color requerido, por medio del uso de pinturas que permanecen impregnadas en el cuero, de modo que mejora su apariencia e incremento de valor en su comercialización. (Moya, 2016, p. 46)

Prensado: mediante la utilización de una prensa y por medio de la presión que ejerce permite conseguir la forma deseada y finalmente el cuero está listo para ser vendido o entregado.

Almacenamiento: es el lugar donde se coloca el producto terminado para que posteriormente sea vendido o utilizado.

1.3.2.3 Aguas residuales

Son aquellas aguas cuyas características físico-químicas y biológicas originales han sido alteradas por las diferentes actividades antrópicas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reutilizadas o descargadas directamente a un cuerpo de agua dulce o al alcantarillado.

✓ **Tipos de aguas residuales**

Aguas residuales urbanas: son aquellas aguas procedentes de las diversas actividades particularmente domésticas, cuya composición contiene materia orgánica.

Aguas residuales industriales: son aquellas aguas que provienen de diferentes procesos industriales, estas varían dependiendo de la actividad industrial que realicen, de manera que pueden contener materia orgánica e inorgánica, sustancias peligrosas (corrosivas, tóxicas, venenosas, inflamables o explosivas).

✓ **Composición de Aguas Residuales de Curtiembre**

El agua residual procedente de las industrias de curtiembre se caracteriza por su alta concentración de contaminantes tales como: materia orgánica, sólidos suspendidos, acidez/alcalinidad y componentes tóxicos como el sulfuro y cromo; siendo las etapas de pelambre y curtido las que mayormente provocan contaminación a este importante recurso hídrico. (Ochoa et al., 2017)

1.3.2.4 Parámetros básicos para caracterizar aguas residuales procedentes de curtiembres

Tabla 4-1: Parámetros organolépticos

Parámetro	Descripción
Color	Define las diferentes “tonalidades” que presentan las aguas. Generalmente las aguas residuales de curtiembre frescas son de color turbio grisáceo mientras que a medida que envejece cambian a gris oscuro y posteriormente a negro, esto debido a la presencia de compuestos orgánicos e inorgánicos en altas concentraciones.
Olor	Se desprende por la descomposición anaerobia de materia orgánica presente en las aguas residuales.

Fuente: (Brandt A Varco Company, 2001); (Lombeida, 2017, p. 35)

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

Tabla 5-1: Parámetros físicos

Parámetro	Descripción
Temperatura	El agua residual suele ser influenciado por la temperatura, de manera que siempre su temperatura va ser mayor al del agua de suministro, esto como consecuencia de la incorporación de agua caliente que proviene del uso doméstico e industrial. El incremento de temperatura suele elevar la velocidad de las reacciones químicas y biológicas y una vez descargada en los medios receptores disminuye la solubilidad del oxígeno.
Turbidez	Fenómeno causado por la presencia de materiales en suspensión presentes en el agua residual, dificultando el paso de la luz.
pH	Es un indicador muy importante, el cual permite determinar la naturaleza del agua residual, para saber si es ácida, neutra o básica. Mide en un rango de 0-14, de manera que si se aproxima a 0 tiende a ser ácida mientras que si se acerca a 14 tiende a ser básica. En los procesos de curtiduría suelen variar, es así que en la etapa de ribera oscila de 11-12, esto como consecuencia de la adición de sulfuro y cal en el proceso; mientras que en la etapa de curtido se reduce a valores de 3.5 – 4.0, resultando ácido por la presencia de cromo y ácidos orgánicos tamponados (sulfúrico y fórmico).
Conductividad	Indica la capacidad que tiene el agua residual para conducir la corriente eléctrica, su valor depende de la concentración total de sustancias ionizadas disueltas en el agua y de la temperatura a la cual es tomada su medición. La medida está influenciada por el pH de la solución, la valencia de los iones y el grado de ionización.
Sólidos totales	<ul style="list-style-type: none"> • Sólidos suspendidos: son partículas que flotan en la superficie o están suspendidas en las aguas residuales. Se incluyen materiales de gran tamaño como: arcilla, sólidos fecales, residuos de papel, madera en descomposición, restos de comida y desechos; en un 70% suelen ser de origen orgánico y en 30% inorgánico. • Sólidos disueltos: hace referencia a materias minerales, sales, metales, cationes o aniones disueltos en el agua residual, provienen de materiales orgánicos (hojas, plancton, desechos) e inorgánicos (rocas, minerales).

Fuente: (Aguamarket); (Brandt A Varco Company, 2001)

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

Tabla 6-1: Parámetros químicos

Parámetro	Descripción
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Es la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica presente en los líquidos residuales, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo. La materia orgánica es convertida en CO_2 y H_2O . En consecuencia, la DQO de cualquier muestra es mayor que la DBO.
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO_5)	Es el proceso de oxidación, en el que los organismos vivos (bacteria, hongos y plancton) degradan la materia orgánica, estabilizándola en condiciones aeróbicas. Proceso lento y teóricamente tarda un tiempo infinito en completarse, al cabo de un periodo de 20 días.
Oxígeno disuelto	Es una prueba vital en la contaminación y control de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, sirve como indicador primario del grado de contaminación de las aguas en referencia. De hecho, en las aguas muy contaminadas cuya concentración puede llegar a valores de casi o igual a cero (condiciones anaeróbicas o anóxicas).
Alcalinidad	Es la capacidad de un sistema o de un agua para aceptar protones (H^+), es decir, la capacidad para amortiguar o neutralizar la adición de ácidos. Como consecuencia de la presencia de iones tales como: hidróxido (OH^-), carbonatos (CO_3^{2-}) y bicarbonato (HCO_3^-), procedentes del agua de pelambre.
Grasas y aceites	Las grasas y aceites en las aguas residuales que provienen de curtiembres generalmente son de origen animal, estas se encuentran en forma de nata sobrenadante o bajo la forma de una emulsión. Por lo que la piel que normalmente es utilizada posee grasas y como parte del proceso en la etapa de pelambre se saponifican parcialmente en medio álcali dando lugar a la formación de un agua residual contenida de grasa.
Tensoactivos	Usualmente, los tensoactivos en la etapa de lavado son utilizados como humectantes y agentes de limpieza de pieles, de manera que se constituyen los causantes de incrementar la concentración de DQO y por ende la contaminación del efluente.
Sulfatos	En las aguas residuales de curtiembre se encuentran como ion sulfato (SO_4^{2-}), proviene del estado de oxidación del sulfuro de amonio adicionado en las etapas de ribera y curtido. Es considerado un indicador de mayor interés debido que son los causantes de provocar malos olores y corrosión al ser descargados en alcantarillados, esto como consecuencia de la reducción de los sulfatos a sulfuros de hidrógeno (H_2S), bajo condiciones anaerobias.
Sulfuros	La etapa de pelambre genera agua residual con presencia de sulfatos, y por reducción bacteriana bajo condiciones anaerobias producen ácido sulfhídrico (H_2S), mismo que es considerado como un gas venenoso y corrosivo.
Cloruros	Corresponden a la forma iónica del cloro, cuando su estado de oxidación es -1 y es considerado un parámetro más abundante en el agua y líquidos residuales. Elevadas concentraciones de cloruros genera inconvenientes debido al sabor que producen y porque como la dureza, fragmentan el jabón y aceleran la corrosión de las tuberías y alcantarillas.
Cromo hexavalente	En las aguas residuales provenientes de la etapa de curtido existe la presencia de este elemento, puesto que el cromo III en forma de sales minerales es usado en dicho proceso, y bajo las condiciones en el que se lleva a cabo, el cromo III se oxida a cromo hexavalente, considerándose un elemento altamente tóxico que si no se le da un tratamiento adecuado puede llegar a ser cancerígeno y mutagénico.
Compuestos fenólicos	Son compuestos orgánicos en los cuales el grupo OH^- de los alcoholes se encuentran enlazados a un anillo bencénico. Este tipo de sustancias es característico de aguas industriales provenientes de agua de lavado del gas de hulla, lignito aguas de lavado de coquerías, destilerías de alquitrán, etc., por lo que es importante su tratamiento, puesto que la presencia de estos compuestos es tóxico para los peces generando un sabor desagradable y en concentraciones bajas su toxicidad se manifiesta para los moluscos, algas, protozoos y bacterias.

Fuente: (Aguamarket); (Brandt A Varco Company, 2001)

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

Tabla 7-1: Parámetros biológicos

Parámetros	Descripción
Coliformes totales	Son aquellas Enterobacteriaceas lactosa positivas, caracterizadas por la capacidad de fermentar la lactosa con producción de ácido y gas, en un período de 48 horas y con una temperatura de incubación que varía entre 30-37°C. Básicamente encontrada en el intestino del hombre y los animales, pero también en otros ambientes como: agua, suelo, aire, plantas, cáscara de huevo, etc.
Coliformes fecales	Son un subgrupo de bacterias coliformes totales, se encuentran en grandes cantidades en los intestinos y excremento de los humanos y animales. La que predomina es la Escherichia, se distingue de los demás coliformes termo tolerantes que por su capacidad produce indol a partir de triptófano o por la producción de la enzima β -glucuronidasa.

Fuente: (HACH COMPANY, 2000)

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

1.3.2.5 Tratamiento de aguas residuales procedentes del proceso de curtiembre

Consiste en un conjunto de operaciones físicas, químicas y/o biológicas, establecidas conforme a las características de las descargas, de manera que se pueda garantizar la preservación de un ambiente limpio y saludable, constituyéndose así en una herramienta crítica para disminuir la contaminación y cumplir con la normativa ambiental vigente para que estas puedan ser descargadas normalmente. Para efectuar el tratamiento respectivo es necesario considerar dos aspectos importantes: los contaminantes presentes en las aguas residuales y el orden de remoción de los mismos. (Marín, 2012)

El sistema de tratamiento está conformado por una combinación de operaciones unitarias (implica fenómenos físicos) y procesos unitarios (reacciones químicas y/o biológicas), diseñados para disminuir ciertos contaminantes de las aguas residuales a un nivel aceptable. (Lombeida, 2017, p. 38).

✓ Tratamiento preliminar

Conocido también como pre-tratamiento, cuyo objetivo principal es la separación de materiales de gran tamaño como: restos de madera, plástico, arena, entre otros que se presencian en las aguas residuales, esto con el fin de acondicionar las aguas residuales para que puedan efectuarse tratamientos posteriores sin ningún inconveniente, logrando así prevenir la obstrucción de bombas, tuberías, válvulas. Además, permite minimizar las grasas y aceites, mismo que podrían causar un bajo rendimiento en los procesos subsiguientes. (Lombeida, 2017, p. 38)

Tabla 8-1: Operaciones que abarca el pre-tratamiento

Operación	Descripción
Desbaste o Cribado	Es una operación elemental que mediante el empleo de rejillas permite eliminar los sólidos gruesos con el objetivo de proteger los equipos mecánicos e instalaciones posteriores que podrían ser obstruidos con perjuicio de los procesos que tuviesen lugar. Para ello, se utilizan rejillas con diferentes separaciones dependiendo si la limpieza es de forma manual o mecánica.
Tamizado	Proceso indispensable para aguas residuales que contienen sólidos en suspensión, flotantes o residuos, cuyo objetivo es la eliminación de materia que por el tamaño que presentan podrían interferir en los tratamientos subsiguientes.
Desarenado	Operación en el que las partículas arenosas y otros sólidos por efecto de la gravedad se decantan hacia el fondo desnivelado del desarenador. Esto con el propósito de prevenir la acumulación de sedimentos en los equipos y aparatos usados en los tratamientos posteriores. (Marín, 2012, p. 76). Se realiza de manera simultánea con el desengrasado.
Desengrasado o Flotación	Es aquel proceso que, mediante el uso de un sistema de aireación, sea está natural o forzada permite conseguir un movimiento en el seno de la masa líquida. De manera que, la acción del aire puede llevar a flotar las grasas y aceites que se encuentran adheridas en el agua residual, esto por medio de diferencia de densidades.

Fuente: (Marín, 2012, p.76); (Rigola, 2005, pp. 137-141)

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

✓ Tratamiento primario:

Conjunto de procesos físico-químicos, cuyo propósito principal es la remoción y separación de materiales sedimentables, flotantes, parte de la carga orgánica, sulfuro y cromo presentes en el agua residual.

Tabla 9-1: Operaciones que se efectúan en el tratamiento primario

Operación	Descripción
Neutralización	<p>Proceso que consiste en la eliminación o disminución del exceso de acidez o alcalinidad de un agua, en el que el pH ha sido alterado como consecuencia de la adición de sustancias químicas, ideal para los tratamientos posteriores.</p> <p>Habitualmente, para neutralizar aguas ácidas suelen utilizar reactivos alcalinos como; cal, óxido de calcio y magnesio, hidróxido de sodio y calcio e hidróxido de magnesio; recomendable el hidróxido de sodio debido a que es muy efectivo para neutralización en plantas de tratamiento pequeñas y para minimizar la generación de lodos. Mientras que para neutralizar aguas alcalinas utilizan disoluciones de ácidos sulfúrico y clorhídrico y dióxido de carbono en estado gaseoso, esto con el fin de formar agua y sales neutras.</p>
Homogenización	<p>Permite conseguir un efluente de composición homogénea y uniforme, con la finalidad de mantener un caudal constante, mejorar las características del líquido residual y optimizar los tratamientos químico y biológico, puesto que existen vertidos irregulares, discontinuos o diferentes de un período a otro. A fin de conseguir un buen rendimiento en el proceso es importante mantener una agitación constante, esto ayudará a evitar malos olores y la sedimentación de sólidos.</p>
Sedimentación	<p>Consiste en separar sólidos que tienen una densidad diferente a la del efluente, por simple decantación en función de la velocidad descendente de las partículas, produciendo así, un líquido transparente. Este proceso ayuda a disminuir los niveles de concentración de DBO_5, DQO y partículas en suspensión.</p>
Coagulación-floculación	<p>Proceso que se efectúa mediante la adición de coagulantes y/o floculantes permitiendo que las partículas coloidales presentes en el agua residual logren aglomerarse, de manera que puedan formar flóculos de mayor tamaño dando lugar a la formación de partículas sedimentables en tiempo relativamente corto, haciendo que el agua baje su turbidez.</p> <p>Según (Marín, 2012, p. 2), menciona que los procesos de coagulación y floculación tienen como objetivo principal la de sustraer de un agua las partículas coloidales utilizando productos químicos apropiados.</p>
Precipitación química	<p>Operación que se efectúa por medio de la adición de agentes químicos a un agua logrando la generación de compuestos poco solubles de fácil decantabilidad. Empleado para optimizar la eliminación de sólidos suspendidos y materia orgánica, así como para eliminar metales pesados tales como: cromo, cobre, cadmio, plomo, níquel, etc., nitrógeno y fósforo.</p>
Filtración	<p>Es el proceso de separación de partículas sólidas adheridas en el efluente a través de un medio más o menos poroso, en el cual quedarán retenidos los sólidos, dando lugar al paso del líquido filtrante.</p>

Fuente: (González, 2013); (Marín, 2012); (Rigola, 2005)

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

✓ Tratamiento secundario:

Se constituye un tratamiento biológico en el que por acción de las bacterias y otros microorganismos se encargan de destruir y metabolizar las materias orgánicas solubles y coloidales, disminuyendo la DBO y DQO a valores menores a 100 mg/l y también bacterias patógenas. (Rigola, 2005)

Tabla 10-1: Operaciones que se efectúan en el tratamiento secundario o biológico

Operación	Descripción
Procesos aerobios	Proceso en el cual a través de la presencia de microorganismos facultativos y oxígeno degradan la materia orgánica presente en el efluente.
Procesos anaerobios	Proceso que requiere de la acción de microorganismos para metabolizar la materia orgánica pero en ausencia de oxígeno, convirtiéndole en ácidos volátiles que, a su vez, se convierten en metano y CO_2 . Ideal para la estabilización de lodos orgánicos y residuos orgánicos de elevada concentración. Normalmente se llevan a cabo en los denominados reactores.

Fuente: (Rigola, 2005)

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

✓ Tratamiento terciario

Este tipo de tratamiento complementa la depuración de los efluentes líquidos cuando se requiere una mayor tratabilidad de la obtenida en los tratamientos primario y secundario. Cuando se necesita eliminar contaminantes no biodegradables, tóxicos y peligrosos.

Hoy en día, para la desinfección y esterilización existen varios métodos con los que se puede tratar tales como: intercambio iónico, ultrafiltración, desinfección, radiación ultravioleta, ozonización, ósmosis inversa, entre otros.

1.4 Beneficiarios directos e indirectos

1.4.1 Directos

- ✓ El mayor beneficiario de la presente investigación será el propietario de la curtiembre “San Isidro”, debido que la empresa al momento no cumple con los requerimientos de calidad ambiental, lo que generaría multas y perjuicios económicos a la planta.
- ✓ Los trabajadores de la curtiembre “San Isidro” se verán beneficiados directamente del tratamiento de las aguas residuales, puesto que ellos están en contacto directo con los

efluentes, lo que a futuro podría causar daños en la salud y por ende disminuye la calidad de vida de los mismos.

1.4.2 Indirectos

Las personas que se beneficiarán indirectamente por el desarrollo de la presente investigación serán:

- ✓ El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de la ciudad de Ambato y el Gobierno Provincial de Tungurahua, debido que dichos organismos estatales al momento se encuentran en la búsqueda de soluciones para mitigar la contaminación generada por las curtiembres.
- ✓ Los pobladores aledaños a la planta industrial y la ciudad de Ambato, ya que al momento son afectados por la contaminación de los efluentes generados.
- ✓ La sociedad en general porque la evacuación de agua contaminada repercute en un elevado grado en la contaminación de los ríos a donde se descarga estas aguas residuales

CAPÍTULO II

2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.1 Objetivo General

- ✓ Diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales para la curtiduría “San Isidro” ubicada en la ciudad de Ambato.

2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Caracterizar los efluentes generados en la curtiduría “San Isidro” de acuerdo a la norma de calidad ambiental vigente.
- ✓ Realizar pruebas de tratabilidad del agua residual para las muestras que se encuentran fuera de los límites con la norma de calidad ambiental vigente.
- ✓ Determinar los flujos, variables y tipos de tratamientos del agua residual para el diseño de tratamiento del agua residual en la curtiduría “San Isidro”.
- ✓ Realizar los cálculos de ingeniería para el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales para la curtiduría “San Isidro”.
- ✓ Validar el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales para la curtiduría “San Isidro” ubicada en la ciudad de Ambato a través de la caracterización del agua tratada según la norma de calidad ambiental vigente.

CAPÍTULO III

3 ESTUDIO TÉCNICO

3.1 Localización del Proyecto

La Curtiduría “San Isidro” se encuentra situado en la provincia de Tungurahua, al sureste de la ciudad de Ambato, parroquia Picaihua, vía a San Juan, a 7 km del Casco Comercial de Ambato, con una altura aproximada de 2600 m.s.n.m.

Sus límites: al norte: la parroquia de Izamba; al sur: la parroquia de Totoras; al este: las parroquias de Salasaca, Rosario y Chiquicha del cantón Pelileo y al oeste: Ambato y la parroquia de Izamba. Posee un clima templado frío, con una temperatura de 15 °C.

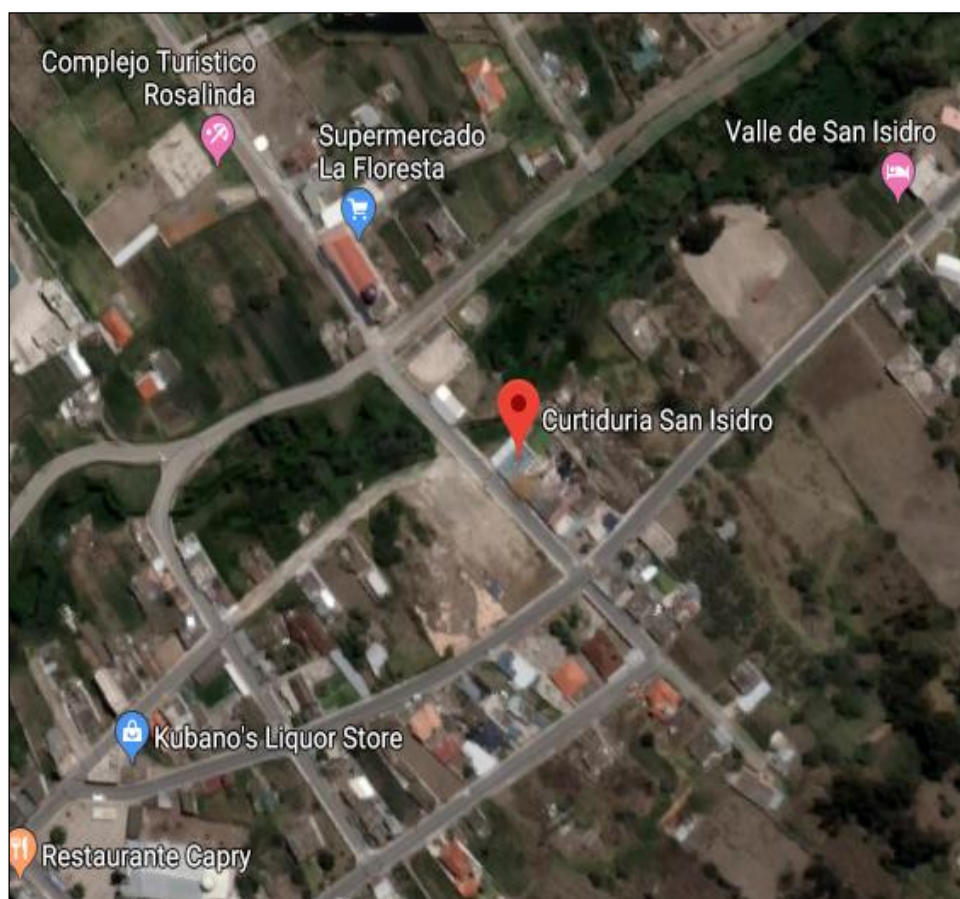


Figura 1-3: Ubicación geográfica de la Curtiduría “San Isidro”

Fuente: Google Maps, 2019.

3.2 Ingeniería del Proyecto

3.2.1 Tipo de estudio

El diseño del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales realizado para la Curtiduría “San Isidro” de la ciudad de Ambato es un proyecto de Tipo Técnico, para la ejecución fue necesario revisar bibliografía sobre normativas, técnicas y guías para alcanzar este fin, y mediante el empleo de operaciones y procesos unitarios permitió desarrollar de manera adecuada las pruebas de tratabilidad, de manera que, en base a ello se ha podido determinar las variables y parámetros conforme al requerimiento de la planta.

3.2.2 Métodos y Técnicas

3.2.2.1 Métodos

Para el desarrollo del presente proyecto se basó en métodos deductivo, inductivo y experimental, de modo que permita alcanzar con este fin.

✓ Método Deductivo

Método lógico que requiere de una serie de principios para emplear en casos específicos, es así que, una vez caracterizado las muestras del agua residual se dispuso los parámetros que se encontraban fuera de límite, y en base a ello se estableció el adecuado sistema de tratamiento para este tipo de aguas, para su desarrollo siendo necesario el requerimiento de las Operaciones y Procesos Unitarios, consiguiendo así, disminuir los niveles de concentración de los contaminantes, para que pueda ser descargado al alcantarillado sin ningún inconveniente.

✓ Método Inductivo

Es aquel método que partiendo de los inconvenientes que la empresa presenta brinda una solución ideal, razón por el cual se inició con el reconocimiento de la situación actual de la planta industrial, haciendo énfasis en el vertido de las aguas residuales procedentes de las diferentes etapas, además el muestreo respectivo basado en la Norma Técnica Ecuatoriana. NTE INEN 2226:2013, Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Diseño de los Programas de Muestreo, posterior a ello, se efectuó la caracterización del agua residual, en el que se analizó parámetros físico-químicos y

microbiológicos respectivamente, logrando así, determinar e identificar los que se encontraban fuera de los límites permisibles establecidos para proporcionar el tratamiento correspondiente.

✓ Método Experimental

Es el método apropiado para cualquier tipo de investigación, pues, cuyos resultados permitirán realizar el diseño conforme al requerimiento de la empresa, así, con las muestras obtenidas específicamente de la etapa de pelambre y curtido se procedió a realizar la caracterización y ensayos de tratabilidad de las aguas residuales, pues, para llevarse a cabo este proceso es necesario el requerimiento de materiales, reactivos y equipos a nivel de laboratorio.

3.2.2.2 Técnicas

Las técnicas son instrumentos de gran utilidad para el desarrollo de la parte experimental, es así, en el presente proyecto se utilizó varias técnicas determinadas por la Norma Técnica Ecuatoriana INEN, el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA), Anexo 1, Tabla 8 y el manual que se maneja en el Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), cuyo documento está basado en métodos estandarizados APHA,AWWA, WPCF y el manual de Análisis de Agua HACH. A continuación se detalla las técnicas de laboratorio utilizadas:

Tabla 1-3: Determinación de Turbiedad

Fundamento	La turbidez es una expresión de la propiedad óptica, de manera que, los rayos luminosos se dispersen y se absorban a través de la muestra correspondiente.
Método	Método nefelométrico. Básicamente se sustenta en la comparación de la intensidad de la luz dispersada por la muestra en condiciones adecuadas, con la intensidad de la luz dispersada por una solución patrón de referencia.
Equipo	Turbidímetro
Materiales	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cubetas de vidrio y Limpiadores
Reactivos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Muestra de agua residual ▪ Agua destilada ▪ Aceite silicona
Procedimiento	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Colocar la muestra de agua residual en la cubeta hasta el nivel de aforo. ▪ Limpiar la cubeta utilizando toallas de papel con trazas de aceite de silicona. ▪ Colocar la celda en el equipo y presionar leer, esperar hasta su estabilización. ▪ Registrar el valor emitido.
Cálculo	Lectura directa en unidades nefelométricas de turbiedad (NTU)

Fuente: (Severiche et al., 2013: pp. 20-21)

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

Tabla 2-3: Determinación de potencial de hidrógeno

Fundamento	Parámetro que permite medir la concentración de iones hidronio que se encuentran presentes en el agua residual, de modo que, facilita si el agua a tratar es ácida, básica o neutra.
Método	Potenciométrico
Equipo	pH-metro
Materiales	<ul style="list-style-type: none"> Vasos de precipitación Limpiadores
Reactivos	<ul style="list-style-type: none"> Soluciones buffer pH 4 y pH 7 Agua destilada Muestra de agua residual
Procedimiento	<ul style="list-style-type: none"> Una vez calibrado el equipo, lavar el electrodo utilizando agua destilada. Colocar 100 ml de muestra de agua residual en un vaso de precipitación de 250 ml. Introducir el electrodo en el vaso que contiene la muestra, agitar suavemente para conseguir homogeneidad y presionar READ. Esperar hasta que se estabilice y anotar los resultados emitido en la pantalla.
Cálculo	Lectura directa

Fuente: (Severiche et al., 2013: pp. 12-13)

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

Tabla 3-3: Determinación de Conductividad

Fundamento	La conductividad es la capacidad que tiene una solución acuosa para permitir el paso de la corriente eléctrica. Efecto producido por la presencia de iones disueltos y permite estimar el contenido total de los mismos.
Método	Método 2510-2520
Equipo	Conductímetro.
Materiales	<ul style="list-style-type: none"> Vasos de precipitación. Limpiadores.
Reactivos	<ul style="list-style-type: none"> Vasos de precipitación. Agua destilada. Muestra de agua residual.
Procedimiento	<ul style="list-style-type: none"> Una vez calibrado el equipo, lavar el electrodo con agua destilada. Colocar 100 ml de muestra de agua residual en un vaso de precipitación. Introducir el electrodo en el vaso que contiene la muestra y presionar READ. Esperar hasta que se estabilice y anotar los resultados emitido en la pantalla.
Cálculo	Lectura directa en unidades ($\mu S/cm$) o (mS/cm)

Fuente: (Severiche et al., 2013: pp. 23-25)

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

Tabla 4-3: Determinación de Sólidos Totales

Fundamento	Son aquellas partículas que se encuentran en el agua residual en forma de materiales disueltas y suspendidas. Permite determinar el peso de dichas materias.
Método	Método gravimétrico. Se determina el peso tras la evaporación de la muestra y secado a peso constante a 103-105 °C.
Equipos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Placa calefactora ▪ Estufa ▪ Balanza analítica ▪ Desecador
Materiales	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cápsulas de porcelana ▪ Probetas ▪ Pinza
Reactivos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Muestra de agua residual
Procedimiento	<p>Preparación de la cápsula de evaporación</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Encender la estufa a una temperatura de 103-105 °C. ▪ Colocar la cápsula limpia en la estufa durante 1 hora. ▪ Llevar la cápsula al desecador hasta el momento de utilizar. ▪ Pesar la cápsula seca y anotar el peso (Peso A). <p>Determinación de sólidos totales</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Colocar 25 ml de agua residual en una probeta, mezclar a fin de obtener una muestra representativa. ▪ Colocar la muestra medida en la cápsula previamente tarada. ▪ Introducir la cápsula en una placa calefactora hasta su evaporación total. ▪ Colocar la muestra evaporada en la estufa a 103-105 °C durante 1 hora. ▪ Llevar la cápsula al desecador, hasta que se enfríe. ▪ Pesar la cápsula y anotar el resultado obtenido <p>Nota: repetir el secado hasta conseguir un peso constante, el peso final será denominado como Peso B.</p>
Cálculo	<p>La cantidad exacta de sólidos totales se determina mediante la siguiente ecuación:</p> $\text{sólidos totales (mg/L)} = \frac{(B - A) * 1000}{\text{volumen de muestra (ml)}}$ <p>Donde:</p> <p>A: peso de la cápsula de evaporación vacía, (mg).</p> <p>B: peso de la cápsula de evaporación con residuo seco, (mg).</p> <p>Nota: para el valor del peso se debe promediar los dos valores constantes finales.</p>

Fuente: (Severiche et al., 2013: pp. 44-46)

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

Tabla 5-3: Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Fundamento	La DBO_5 hace referencia a la cantidad de oxígeno requerido para degradar la materia orgánica presente en la muestra de agua residual, efectuado a una temperatura dada y tiempo determinado.
Método	Incubación por 5 días.
Equipo	Incubadora termostáticamente a $20 \pm 1^\circ\text{C}$
Materiales	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Probeta ▪ Pipeta ▪ Balón aforado de 200 ml ▪ Botellas de winkler de 300 ml ▪ Tapa de sello ▪ Cabezales de medición ▪ Agitador magnético
Reactivos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Muestra de agua residual ▪ Bolsa de solución tampón de nutrientes ▪ Agua destilada ▪ Pastilla de hidróxido de potasio.
Procedimiento	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tomar un balón aforado, diluir 10 ml de muestra de agua residual con 100 ml de agua destilada. Nota: repetir este procedimiento hasta conseguir 200 ml de muestra diluida. ▪ Tomar 150 ml de la muestra diluida y colocar en la botella winkler. ▪ Añadir una bolsa de nutrientes y colocar el agitador magnético. ▪ En la tapa colocar una pastilla de hidróxido de potasio y taponar la botella. ▪ Enroscar el cabezal de medición y encender. ▪ Llevar la botella a la incubadora y dejar por un período de 5 días. ▪ Después del tiempo establecido anotar los resultados obtenidos.
Cálculo	Lectura directa

Fuente: (HACH COMPANY, 2000, pp. 169-181)

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

Tabla 6-3: Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Fundamento	La DQO mide la cantidad de oxígeno requerido para degradar la materia orgánica de una muestra que es susceptible de oxidación en condiciones determinadas.
Método	Método de digestión/colorimétrico
Equipo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reactor DQO. ▪ Espectrofotómetro.
Materiales	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vaso de precipitación. ▪ Pipeta de 5 ml. ▪ Limpiadores. ▪ Gradilla
Reactivos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Muestra de agua residual ▪ Agua destilada
Procedimiento	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Encender el reactor de DQO y precalentar hasta una temperatura de 150 °C. ▪ Homogeneizar la muestra de agua residual durante un tiempo de 30 s. ▪ Extraer la tapa de un tubo que contiene el reactivo de DQO. ▪ Adicionar con la pipeta 2 ml de muestra a tratar, tapar el tubo y limpiar la parte exterior del tubo. Rotular el tubo con una M (que indique muestra). ▪ Mezclar bien el contenido del tubo invirtiendo varias veces. Durante la mezcla es normal que se presente elevación de la temperatura, por lo que, el tubo se debe colocar en el reactor pre-calentado. ▪ Preparar el blanco repitiendo los dos pasos anteriores, pero esta vez añadiendo 2 ml de agua destilada y rotular el tubo con una B (que indique blanco). ▪ Introducir los tubos en el reactor y digitar la tecla STAR durante un tiempo de 120 min. ▪ Apagar una vez transcurrido el tiempo establecido y dejar enfriar por unos 20 min. ▪ Extraer los tubos e invertir varias veces y colocar en una gradilla hasta que llegue a temperatura ambiente. ▪ Encender el espectrofotómetro y seleccionar el número de programa para DQO. ▪ Limpiar bien la parte externa los dos tubos, colocar en el equipo el blanco y presionar la tecla cero, dejar hasta su estabilización. ▪ Finalmente colocar el tubo M (muestra a analizar) en el equipo, presionar READ y esperar hasta que se estabilice para anotar los resultados.
Cálculo	Lectura directa en (mg/l)

Fuente: (HACH COMPANY, 2000, pp. 182-189)

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

3.3 Toma y monitoreo de muestras

3.3.1 Determinación de caudal

El caudal de las etapas de pelambre y curtido se determinó in situ empleando el método volumétrico, este dato se obtuvo de la descarga de los bombos en función del tiempo, pues para tomar el caudal se consideró también los días de mayor producción y en base a la cantidad de agua utilizada en los respectivos procesos.

Método volumétrico: consiste en la medición directa del tiempo que demora en llenarse un recipiente de volumen conocido, es una forma sencilla para determinar caudales pequeños mediante la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Ecuación 1-3

Donde:

Q : Caudal a calcular, (l/s).

V : Volumen medido, (L).

t : Tiempo que demora en llenarse el recipiente, (s).

Tabla 7-3: Resultados obtenidos de medición de caudal de la Curtiduría “San Isidro”

Número de repeticiones	Etapa	
	Pelambre	Curtido
Caudal (L/min)		
1	2,1	1,6
2	2,0	1,7
3	2,2	1,5
4	2,1	1,7
5	2,0	1,5
Promedio total	2,08	1,6
Caudal ($m^3/día$)	3,00	2,30

Fuente: Curtiduría San Isidro, 2019.

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

3.3.2 Muestreo

Previo a la caracterización se realizó el muestreo de las aguas residuales procedentes de las etapas de pelambre y curtido respectivamente, basado en la NTE INEN 2226:2013, Agua. Calidad del

Agua. Muestreo. Diseño de los Programas de Muestreo, el cual establece los procedimientos y precauciones generales que se deben manejar para la conservación y transporte de todo tipo de muestras de agua. Para conseguir una muestra representativa se realizó mediante un plan y ejecución de muestreo, que a continuación se describe:

Plan de muestreo: permitió programar las actividades que se llevaron a cabo durante el muestreo, desde la identificación de los procesos, puntos de muestreo, materiales a emplear, número de muestras a recolectar y sobre todo las condiciones de muestreo.

Ejecución de muestreo: consiste en plasmar lo que se ha planificado en el plan de muestreo, siguiendo cada uno de los procedimientos y protocolos, es así, que en el presente proyecto como aspecto principal se identificó los diferentes procesos que se llevan a cabo en la empresa, haciendo énfasis en las etapas de pelambre y curtido, etapas en el cual se realizó el muestreo. Las muestras fueron tomadas en días conforme a la producción y a la cantidad de materia prima.

Las muestras fueron recolectadas en la salida de los bombos de las dos etapas anteriormente mencionadas, cada uno por separado, inicialmente se preparó los envases, mismos que se etiquetaron indicando el nombre del responsable, fecha, hora, lugar y tipo de muestra; se tomaron 3 muestras simples por producción, y una vez tomadas las muestras, en las mismas instalaciones se realizó la mezcla de las muestras simples para obtener una mezcla compuesta, logrando así una muestra homogénea para evitar inconvenientes durante la caracterización inicial. A continuación, en la tabla siguiente se indica las actividades desarrolladas durante el muestreo:

Tabla 8-3: Recolección de muestras de las etapas de curtido y pelambre – Curtiduría San Isidro

Etapas de muestreo	Fecha de muestreo	Tiempo de descarga del bombo	Nº de muestras simples	Muestra compuesta
Curtido	2019-04-03	Inicial, medio y final.	3	1
	2019-04-25	Inicial, medio y final.	3	1
	2019-05-08	Inicial, medio y final.	3	1
Pelambre	2019-06-04	Inicial, medio y final.	3	1
	2019-06-10	Inicial, medio y final.	3	1
	2019-06-17	Inicial, medio y final.	3	1
Total de muestras			18	6

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

3.3.3 Caracterización inicial de las aguas residuales procedentes de la etapa de curtido y pelambre de la Curtiduría “San Isidro”

Los análisis físico-químicos y microbiológicos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Calidad de Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH y en el Laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH), esto con el propósito de determinar el grado de contaminación y calidad de las aguas residuales provenientes de la etapa de curtido y pelambre. Para identificar los parámetros que se encontraban fuera de límite se realizó una comparación de los resultados obtenidos de la caracterización inicial con los valores establecidos en el TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Tabla 8, el cual permitió seleccionar el tratamiento más idóneo y adecuado.

✓ Caracterización inicial del agua residual de la etapa de pelambre

Tabla 9-3: Resultados de la caracterización del agua residual de la etapa de pelambre

Parámetro	Unidad	Límite máximo permisible	Resultados de la caracterización		
			M1	M2	M3
Análisis Físico					
Temperatura	°C	<40	21	22	19,5
Color	Unidades de Pt/Co	-	311	352	295
pH	-	5-9	12,30	12,53	11,98
Turbiedad	NTU	-	3420	4200	2947
Conductividad	<i>mS/cm</i>	-	6,84	8,40	6,00
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	220	1056	1256	1149
Sólidos sedimentables	mL/L	20	44	39	46
Sólidos totales	<i>mg/L</i>	1600	5422	4265	5132
Análisis Químico					
Sulfuros (S)	<i>mg/L</i>	1,0	863	915	894
Sulfatos (<i>SO₄⁻²</i>)	<i>mg/L</i>	400	1342	1254	1185
Salinidad	<i>mg/L</i>	-	1,88	2,03	1,90
DQO	<i>mg/L</i>	500	19300	17142	16223
DBO ₅ (5 días)	<i>mg/L</i>	250	15634	12451	9586

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

De acuerdo a la tabla 9-3, se puede observar que el agua residual de pelambre presenta un alto grado de contaminación, el cual al ser descargado al alcantarillado sin previo tratamiento implica un gran riesgo para el ecosistema y el ser humano. Los parámetros que se encuentran fuera de

norma son: DQO, DBO₅, sulfuros, sulfatos, sólidos totales y sedimentables y pH (carácter básico debido a la adición de químicos para desprender el pelo), pues para su vertido y a fin de cuidar el ambiente deben recibir tratamientos adecuados.

✓ **Caracterización inicial del agua residual de la etapa de curtido**

Tabla 10-3: Resultados de la caracterización inicial del agua residual de la etapa de curtido

Parámetro	Unidad	Límite máximo permisible	Resultados de la caracterización		
			M1	M2	M3
Análisis Físico					
Temperatura	°C	<40	29	24,3	25,6
Color	Unidades de Pt/Co	-	1502	1380	1480
pH	-	5-9	3,75	3,92	4,24
Turbidez	NTU	-	1452	1800	2270
Conductividad	<i>mS/cm</i>	-	5,09	2,28	2,97
Densidad	<i>kg/m³</i>		1395,4	1023	1037,4
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	220	1640	937	1143
Sólidos Disueltos Totales	ml/L	20	80	65	60
Sólidos totales	<i>mg/L</i>	1600	2540	2840	3026
Análisis Químico					
Cromo total	<i>mg/L</i>	-	1739,84	232,50	141,09
Cromo hexavalente	<i>mg/L</i>	0,5	0,42	0,83	0,76
Salinidad	<i>mg/L</i>	-	2,5	1,1	1,5
DQO	<i>mg/L</i>	500	9700	3500	5400
DBO ₅	<i>mg/L</i>	250	2800	1600	2660

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH. Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH.
Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

En la tabla 10-3, se determina que los parámetros de DQO, DBO₅, color, turbidez, sólidos suspendidos y totales sus valores resultan elevados, constituyéndose un serio problema de contaminación al ser descargado al sistema de alcantarillado. Como se puede observar el pH presenta valores bajos, considerándose un agua residual de carácter ácido debido a la adición de ácidos como: ácido fórmico y sulfúrico en la etapa de piquelado, pues el afluente procedente de este proceso contiene contaminantes agresivos, lo cual para su tratamiento deben realizarlo de forma separada.

Por tanto, el agua residual proveniente de la etapa de curtido y tomando en cuenta los parámetros que se encuentran fuera de norma deben ser sometidos a diferentes tratamientos dependiendo del tipo de agua a tratar.

3.4 Consideraciones para la tratabilidad de aguas residuales

Según investigaciones realizadas a nivel mundial, nacional y local indican que en las industrias de curtiembre existen dos etapas que mayormente generan contaminación siendo estas la de pelambre y curtido, las cuales deben ser analizadas y tratadas por separado antes de ser mezclado en el efluente final, evitar dicha mezcla se debe a dos razones sustanciales:

- ✓ El agua residual procedente de la etapa de pelambre presenta un carácter básico con contenido de sulfuro, al ser mezclado con el efluente ácido de la etapa de curtido podría generar emanaciones de ácido sulfhídrico (H_2S), siendo un gas peligroso y tóxico para los seres vivos. (Arze et al., 2003)
- ✓ Permite la facilidad de recuperación de residuos en forma de productos que podrían ser introducidos en el mismo proceso y a su vez puede ser de mayor pureza.

3.4.1 Índice de biodegradabilidad

La biodegradabilidad es fundamental al tratarse de aguas residuales procedentes de procesos industriales, particularmente de las curtiembres, puesto que este tipo de efluentes contienen elevadas concentraciones de materia orgánica con diversas características físicas y diferentes niveles de biodegradabilidad, cuya determinación permite elegir y definir los sistemas de tratamientos de depuración más idóneo. (Acevedo et al., 2011)

Para conocer si la materia orgánica presente en el agua residual es biodegradable o inerte es necesario el uso de la relación que existe entre DBO_5/DQO . A continuación, en la siguiente tabla se indican los criterios de biodegradabilidad:

Tabla 11-3: Criterios de biodegradabilidad según la relación entre DBO_5/DQO

DBO_5/DQO	Carácter	Tipo de Tratamiento
$> 0,8$	Muy biodegradable	Por poseer materia muy biodegradable, es idóneo emplear tratamientos biológicos.
$0,7 - 0,8$	Biodegradable	Empleo de tratamientos físico-químicos o biológicos.
$0,3 - 0,7$	Poco biodegradable	Por contener materia no biodegradable (de naturaleza inorgánica) se puede emplear tratamientos físico-químicos, restringiéndose al uso de sistemas biológicos.
$< 0,3$	No biodegradable	Tratamiento físico-químico por contener material inorgánico.

Fuente: (Bedoya et al., 2014: p. 7)

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

En el presente proyecto para determinar el nivel de biodegradabilidad de las muestras de aguas residuales proveniente de las etapas de curtido y pelambre se efectuó con los datos obtenidos de la caracterización inicial del agua residual tanto de DBO_5 Y DQO , a continuación, en la siguiente tabla se indican los resultados:

Tabla 12-3: Resultados de la relación de DBO_5/DQO – Agua de pelambre y curtido

Parámetro	Unidades	Límite Máximo Permisible	Etapas de pelambre	Etapas de curtido
DBO_5	mg/L	250	12557	2353
DQO	mg/L	500	17555	6200
Relación DBO_5/DQO			0,72	0,38

Fuente: Laboratorio de Calidad de Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

Los resultados obtenidos de la relación DBO_5/DQO arrojaron los siguientes valores:

- ✓ En la etapa de pelambre se obtuvo un valor promedio de 0,72, conforme a los criterios de biodegradabilidad el afluente es de naturaleza biodegradable, siendo adecuado los tratamientos biológicos y físico-químicos, en este caso optando por los dos tratamientos debido a la elevada concentración de contaminantes que presenta, con el fin de disminuir dicha carga contaminante se realizará primero un sistema de tratamiento biológico como es la aireación (permite oxidar sulfuros) asegurando un buen % de remoción de los contaminantes de naturaleza orgánica.
- ✓ En la etapa de curtido dio un valor promedio de 0,38, este resultado indica que el agua residual a tratar es poco biodegradable, siendo idóneo el empleo de un tratamiento físico-químico o biológico, pues en este caso se llevó a cabo mediante un sistema de tratamiento físico-químico porque al realizar las pruebas de tratabilidad a nivel de laboratorio se obtuvo

buenos resultados; no se optó por el sistema biológico porque implica elevados costos de implementación.

3.4.2 Pruebas de tratabilidad

Las pruebas de tratabilidad son ensayos efectuados a nivel de laboratorio para establecer las características de tratamiento y las medidas de implementación con el propósito de optimizar los resultados, además permiten verificar la eficiencia de tratamiento propuesto previo a la ejecución del diseño y posterior implementación.

Habiendo determinado la factibilidad de los métodos de tratamiento a emplear se llevaron a cabo los ensayos respectivos, logrando obtener la mejor eficiencia de remoción de contaminantes presente en el agua a tratar.

3.4.2.1 Prueba de jarras

La prueba de jarras es un procedimiento que permite efectuar la dosificación óptima de ciertos químicos como: coagulantes y floculantes empleados para la potabilización de aguas o depuración de aguas residuales. Ensayo utilizado con la finalidad de eliminar el material coloidal y materia orgánica presente en las aguas residuales para la remoción de color y turbiedad que podrían generar inconvenientes en los tratamientos posteriores.



Figura 2-3: Equipo del Test de Jarras
Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

Consiste en utilizar una serie de jarras al mismo tiempo, aplicar diferentes dosis de químico en el que debe variar la velocidad de agitación, dando lugar a la formación de flóculos de mayor tamaño susceptibles de sedimentación. Por tanto, para su desarrollo se requiere tomar en cuenta algunos

factores que influyen en el proceso tales como: temperatura, pH, concentración de los productos químicos a emplear, grado de agitación y tiempo de sedimentación, pues de estos factores depende la obtención de resultados adecuados.

3.4.2.2 Químicos utilizados en la tratabilidad de las aguas residuales

✓ Reactivos químicos utilizados para tratar agua de pelambre y curtido

Sulfato de manganeso ($MnSO_4$): actúa como catalizador para reducir el tiempo de reacción del agua residual procedente de la etapa de pelambre, logrando la oxidación de los sulfuros S^{-2} a sulfatos. La cantidad depende del tipo de efluente líquido a tratar.

Cal P24: comúnmente utilizado para el control de pH, puesto que el agua procedente de la etapa de curtido presenta valores bajos de pH, pues para conseguir que el pH se ajuste a valores entre 8-9 óptimo para efectuar los procesos de coagulación y floculación fue necesario emplear la cal.

Tabla 13-3: Coagulantes y floculantes utilizados en la tratabilidad del afluente

COAGULANTES		
Descripción: son productos que reaccionan químicamente con los componentes de agua residual, de manera específica con la alcalinidad dando lugar a la formación de un precipitado. La función principal de los coagulantes es la desestabilización de las partículas coloidales que se encuentran presentes en el agua, transformándolos en partículas de un determinado tamaño con capacidad de sedimentación. (Abramovich et al., 2009)		
Tipos de coagulante	Dosificación recomendado para agua residual (ppm)	Ventajas y Desventajas
Sulfato de aluminio 2% Fórmula: $(SO_4)_3 Al_2 \cdot 14H_2O$	100-300	Ventajas: <ul style="list-style-type: none"> - Alta disponibilidad y bajo costo - Flexibilidad de uso para diferentes tipos de agua.
		Desventajas: <ul style="list-style-type: none"> - Generación de grandes cantidades de lodos. - Mayor tiempo de mezclado y sedimentación. - Agua con elevada turbiedad.
Cloruro férrico 2% Fórmula: $FeCl_3 \cdot 6H_2O$	100-500	Ventajas: <ul style="list-style-type: none"> - Efectivo en rangos amplios de pH y temperatura. - Baja dosificación
		Desventajas: <ul style="list-style-type: none"> - Generación de lodos con hierro, mismos que son corrosivos.

Policloruro aluminio 2% Fórmula: $Cl_{3n-m}(OH)_mAl_n$	100-800	<u>Ventajas:</u> <ul style="list-style-type: none"> - Mejora la velocidad de formación de flocs. - Mayor velocidad de sedimentación. - Menor tiempo de mezclado. - Mejor eficiencia de filtración. - Trabajo en amplio rango de pH. - Menor costo de operación reducción de lodos de un 25-75% <u>Desventajas:</u> <ul style="list-style-type: none"> - Alto costo, pero es muy efectivo a bajas concentraciones de 20 – 40 ppm.
------------------------------------------------------------------	---------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

FLOCULANTES

Descripción: son sustancias químicas orgánicas que tienen la capacidad de aglomerar las partículas desestabilizadas dando lugar a la formación de flóculos de mayor tamaño que sean capaces de sedimentarse.

Tipo de floculante	Descripción
Aniónico. Poliacrilatos.	Poseen una carga iónica negativa, reaccionan a través de la unión con cargas catiónicas residuales en coagulantes adsorbidos a coloides coagulados.
No iónico. Poliacrilamidas.	<ul style="list-style-type: none"> - Puede actuar con carácter catiónico o aniónico (copolimerizando acrilamida con ácido acrílico). - Disponibilidad de cantidad específica de monómero iónico. - Poseen peso molecular medio específico (longitud de cadena) y una distribución dada.
Catiónico. Conocido también como Poliacrilamida Catiónica	<ul style="list-style-type: none"> - Copolímeros a base de acrilamida con peso molecular > 100000. Solución del 0,1 al 1%. - Realiza doble función al coagular por poseer carga iónica positiva y al flocular por su alto peso molecular.

Fuente: (Rigola, 2005, p. 54); (Abramovich et al., 2009: p. 3); (Cinética Química)

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

3.5 Sistema de tratamiento del afluente de los procesos de pelambre y curtido.

3.5.1 Agua Residual de Pelambre

El tren de tratamiento consiste en emplear diferentes operaciones y procesos unitarios para la depuración del agua residual. Es así que en la etapa de pelambre el aspecto importante es eliminar o disminuir la concentración de sulfuros que se encuentran presente en el afluente y los demás parámetros que presentan valores fuera del límite permisible que rige la normativa ambiental vigente.

3.5.1.1 Ensayos de tratabilidad para agua de pelambre.

✓ Aireación

Es un proceso físico que consiste en introducir aire al agua, logrando disminuir CO_2 y H_2S , la remoción de gases como: metano, cloro, amoníaco y otros compuestos y sustancias orgánicas

volátiles causantes de generar color y olor indeseable, comúnmente utilizado en la depuración de aguas residuales. A continuación, se describe el procedimiento respectivo:

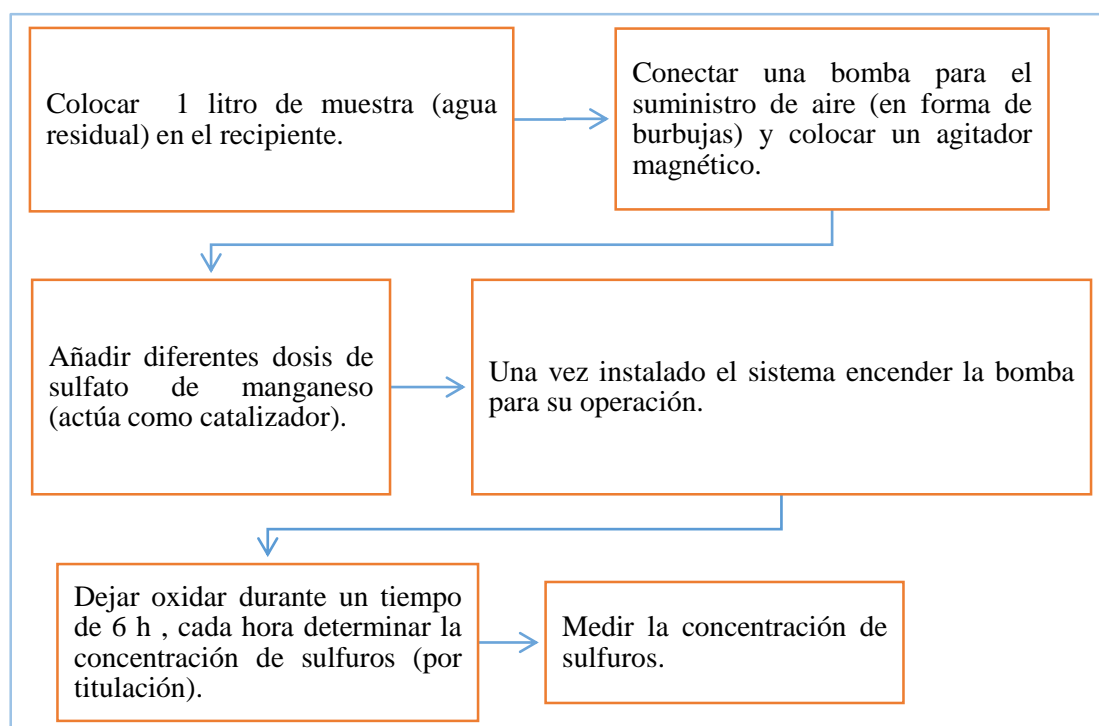


Gráfico 1-3: Procedimiento para realizar la aireación

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

✓ Dosificación de sulfato de manganeso

Tabla 14-3: Determinación de dosis adecuada de sulfato de manganeso

Volumen de muestra = 1 Litro; Concentración inicial de sulfuros = 863 (mg/L)							
Cantidad de sulfato de manganeso al 5% (mL)	Concentración de sulfato de manganeso (ppm)	Concentración de sulfuros (mg/L)					
		t (1 h)	t (2 h)	t (3 h)	t (4 h)	t (5 h)	t (6 h)
2	100	872	912	872	928	789	645
4	200	898	765	789	645	605	597
6	300	752	613	598	411	324	248
8	400	876	806	710	756	812	703
10	500	859	783	702	698	587	465

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

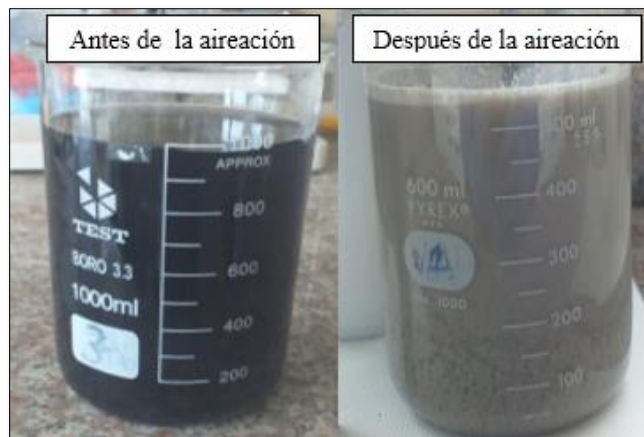


Figura 3-3: Agua residual sometido a la aireación
Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

De acuerdo a los resultados de la tabla 14-3, se deduce que la dosis óptima de sulfato de manganeso es de 6 mL (300 ppm) para un volumen de 1L y el tiempo ideal de aireación es de 6 horas, por lo que en ese tiempo y dosificación hay una disminución considerable de sulfuros.

Previo a los procesos de coagulación – floculación se realizó el ajuste de pH, puesto que para efectuar dichos procesos se requiere de un pH que oscile entre 8-9, valor óptimo para que los productos químicos reaccionen con el agua residual de manera simultánea. La dosis que se adicionó es de 3,5 ml a una concentración de 2 N.

✓ **Coagulación – floculación**

Para llevar a cabo los mencionados procesos se realizó ensayos mediante el test de jarras, el cual permite seleccionar el coagulante y floculante más idóneo, además también determinar la dosificación adecuada. A continuación, se describe el procedimiento efectuado:

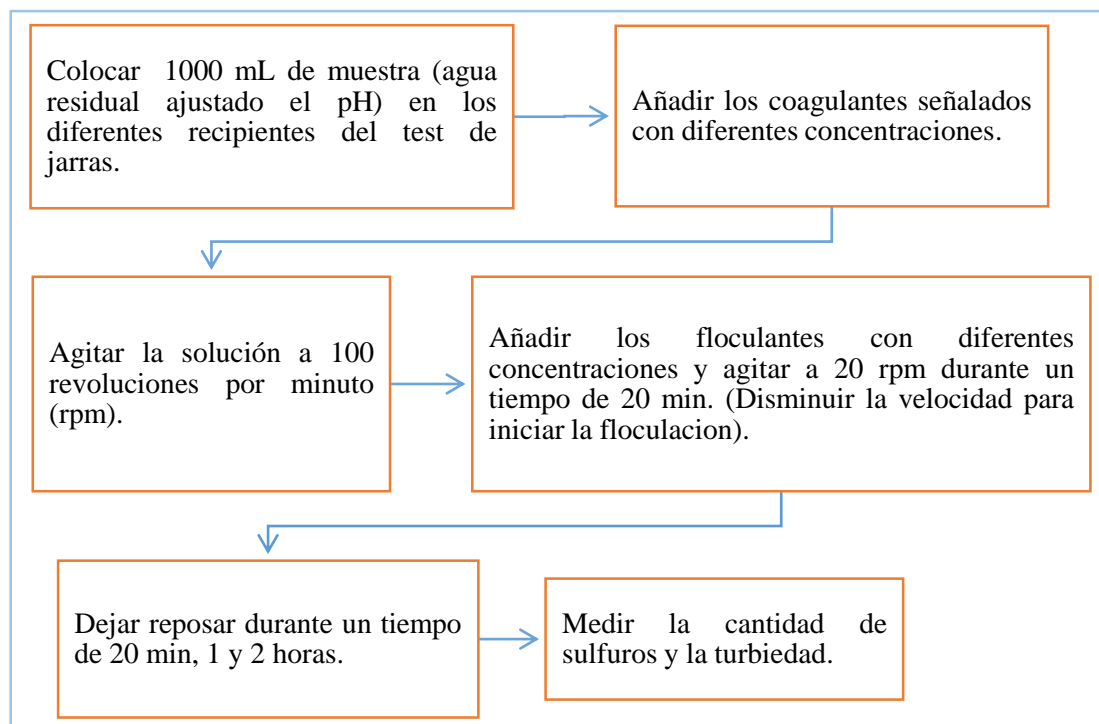


Gráfico 2-3: Procedimiento para realizar coagulación – floculación

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

Selección del coagulante

Tabla 15-3: Dosificación de diferentes coagulantes para agua de pelambre

Volumen de muestra = 1000 mL; pH ajustado = 8,92; Velocidad de agitación = 100 rpm; Concentración del coagulante = 200 ppm.						
Tipo de coagulante	Tiempo de sedimentación					
	Tiempo (20 min)		Tiempo (1 h)		Tiempo (2 h)	
	Sulfuros (mg/L)	Turbiedad (NTU)	Sulfuros (mg/L)	Turbiedad (NTU)	Sulfuros (mg/L)	Turbiedad (NTU)
Cloruro férrico al 2%	104	970	75	525	32	342
Policloruro de aluminio al 2%	85	815	42	489	14	341
Sulfato de aluminio al 2%	112	1025	81	512	39	314

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.



Figura 4-3: Agua tratada con coagulantes

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

Conforme a los resultados arrojados en la tabla 15-3 indica que el coagulante más idóneo para tratar este tipo de aguas es el policloruro de aluminio (PAC) puesto que al agregar en 1000 ml de agua presenta una baja cantidad de sulfuros y el tiempo de sedimentación adecuado es de 2 horas, con el coagulante que dio mejores resultados se realizó un nuevo ensayo para determinar la concentración exacta de coagulante, esto con el fin de evitar el consumo excesivo de los reactivos químicos y reducir costos.

Dosificación de PAC al 2% a diferentes concentraciones. Ensayo N° 01

Tabla 16-3: Determinación de concentración de PAC 2% para agua de pelambre. Ensayo N° 01

Volumen de muestra= 1000 mL; Velocidad de agitación = 100 rpm;							
Volumen (ml)	Concentración (ppm)	Tiempo de sedimentación(h)					
		t (20 min)		t (1 h)		t (2 h)	
		Turbiedad (NTU)	Sulfuros (mg/L)	Turbiedad (NTU)	Sulfuros (mg/L)	Turbiedad (NTU)	Sulfuros (mg/L)
2,5	50	840	124	589	97	312	84
5,0	100	870	96	653	125	502	102
10,0	200	920	115	712	86	395	163
15,0	300	1021	143	998	242	1132	211

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

Los resultados de la tabla 16-3 indica que al añadir 2,5 mL (50 ppm) de PAC al 2% permite disminuir considerablemente la concentración de sulfuros a 84 mg/L y una turbiedad de 312 NTU respecto a los otros resultados, sin embargo, la turbiedad presenta un valor alto, a fin de disminuir el consumo excesivo de productos químicos se realizó un nuevo ensayo.

Dosificación de PAC a diferentes concentraciones. Ensayo N° 02

Tabla 17-3: Determinación de concentración de PAC para agua de pelambre. Ensayo N° 02

Volumen de muestra= 1000 mL; Velocidad de agitación = 100 rpm;							
Volumen (ml)	Concentración (ppm)	Tiempo de sedimentación(h)					
		t (20 min)		t (1 h)		t (2 h)	
		Turbiedad (NTU)	Sulfuros (mg/L)	Turbiedad (NTU)	Sulfuros (mg/L)	Turbiedad (NTU)	Sulfuros (mg/L)
2	40	913	115	677	92	392	81
98	50	805	108	542	84	398	65
3,0	60	750	106	583	125	452	102
3,5	70	680	83	465	64	175	35
4,0	80	980	143	812	242	1132	211

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

De la tabla 17-3 se deduce que la dosis adecuada de PAC para añadir a 1000 mL de agua es de 3,5 mL (70 ppm) puesto que a esa concentración la turbiedad disminuye notablemente a 175 NTU y una concentración de sulfuros de 35 (mg/L) obteniendo buenos resultados, el tiempo ideal de sedimentación es de 2 h.

Selección del floculante

Tabla 18-3: Dosificación de PAC y diferentes floculantes para agua de pelambre

Volumen de muestra = 1000 mL; Turbiedad inicial (NTU) = 3420; Velocidad de agitación = 20 rpm (durante 20 min); tiempo de sedimentación = 2 horas.				
Tipo de floculante	Concentración de floculante (ppm)	pH	Concentración de sulfuros (mg/L)	Turbiedad (NTU)
Aniónico	5	9	320	495
Catiónico	5	8,5	41	182
No iónico	5	9,3	329	684

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

El floculante más idóneo para tratar agua de pelambre es el de tipo catiónico debido a que existe una buena disminución de la concentración de sulfuros y también de turbiedad, caso que no sucede con los otros floculantes, con el floculante y concentración que dio mejores resultados se realizó nuevas pruebas, esto con el fin de reducir el consumo excesivo de insumos.

Dosificación de PAC y floculante catiónico a diferentes concentraciones

Tabla 19-3: Determinación de concentración de floculante catiónico para agua de pelambre

Velocidad de agitación = 20 rpm (durante 20 min).				
Volumen (ml)	Concentración (ppm)	pH	Concentración de sulfuros (mg/L)	Turbiedad (NTU)
0,25	5	8,9	97	262
0,5	10	8,5	23	128
0,75	15	9,0	78	146
1,0	20	9,2	156	362

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.



Figura 5-3: Agua tratada con floculante catiónico

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

Los resultados de la tabla 19-3 indican que la concentración de sulfuros disminuye a 23 mg/L al trabajar a una concentración de 10 ppm (0,5 mL), siendo ideal para el tratamiento tal como se observa en la figura 5-3, también se puede observar que la turbiedad disminuye significativamente.

Resultados finales de la Prueba de Jarras

Tabla 20-3: Resultados Finales de la Prueba de Jarras para agua de pelambre

V muestra = 1000 mL; pH ajustado = 8,5; Turbiedad inicial (NTU) = 3420		
Aireación	Concentración de $MnSO_4$ al 5%	300 ppm
	Tiempo de aireación	6 h
Coagulación	Concentración de PAC al 2%	70 ppm
	Velocidad de agitación	100 rpm
	Tiempo de mezcla	1 min
	Concentración de floculante catiónico	10 ppm

Floculación	Velocidad de agitación	20 rpm
	Tiempo de mezcla	20 min
Tiempo de sedimentación	2 horas	
Concentración de sulfuros	23 mg/L	
Turbiedad	128 NTU	

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

Los resultados finales de la prueba jarras que se detallan en la tabla 20-3 indican que el coagulante y floculante más idóneo para depurar agua de pelambre son el PAC y floculante de tipo catiónico en condiciones y dosis señaladas, puesto que al realizar ensayos a nivel de laboratorio permite disminuir notablemente la concentración de sulfuros y turbiedad; así también el tiempo de sedimentación es indispensable puesto que mientras más tiempo se efectué hay mayor % de remoción.

3.5.1.2 Sistema de tratamiento para agua de pelambre

Habiendo efectuado los ensayos de tratabilidad, se describe el sistema de tratamiento completo que se llevó a cabo a nivel de laboratorio:

✓ Aireación

Tabla 21-3: Resultados de aireación para agua de pelambre

Volumen de muestra = 1 litro; Concentración inicial de sulfuros = 863 (mg/L)			
Cantidad de sulfato de manganeso (mL)	Concentración de sulfato de manganeso (ppm)	Concentración de sulfuros (mg/L)	Tiempo de operación (h)
6	300	248	6

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

Los resultados de la tabla 21-3 indican que al agregar 6 mL de solución de sulfato de manganeso al 5% en 1000 mL de agua residual permite reducir a 248 mg/L de sulfuros, como se puede apreciar la concentración disminuye significativamente; además el tiempo que debe permanecer en aireación es de 6 horas porque mientras más tiempo de operación se reduce aún más.

✓ Coagulación – floculación y sedimentación

Tabla 22-3: Resultados de dosificación con PAC y floculante catiónico para agua de pelambre

pH ajustado = 8,83; Turbiedad inicial (NTU) = 3420; Tiempo de sedimentación = 2 h				
Concentración de PAC al 5% (ppm)	Concentración de floculante (ppm)	Concentración de sulfuros (mg/L)	Turbiedad final (NTU)	Color (Pt/Co)
70	10	23	128	126

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.



Figura 6-3: Agua luego de 2 h de sedimentación

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

Previo al mencionado proceso se ajustó el pH con 3,5 ml de ácido sulfúrico a una concentración 2 N, posterior a ello se adicionó el PAC al 2% y floculante catiónico con la dosis descrita en la tabla 22-3, se dejó sedimentar durante 2 horas, tiempo adecuado en el que los sólidos por acción de la gravedad se van hacia la parte inferior del recipiente tal como se puede observar en la figura 6-3, logrando así la disminución de turbiedad, concentración de sulfuros y color.

Finalmente, para determinar la eficiencia de los ensayos realizados se llevó a cabo la caracterización del agua tratada, cuyos resultados se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 23-3: Resultados de la caracterización final del agua tratada de pelambre

Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible	Resultados de la caracterización inicial y final					
			(M1)		(M2)		(M3)	
			Agua sin tratar	Agua Tratada	Agua Sin tratar	Agua tratada	Agua sin tratar	Agua tratada
Temperatura	°C	<40	21	20	22	20,5	19,5	19
Color	Unidades de Pt/Co	-	311	24	352	36	295	23
pH	-	5-9	12,30	8,35	12,53	8,25	11,98	8,17
Turbiedad	NTU	-	3420	67	4200	84	2947	53
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	220	1056	162	1256	143	1149	96
Sólidos Sedimentables	mL/L	20	44	8	39	6	46	9
Sólidos Totales	mg/L	1600	5422	958	4265	815	5132	928
Sulfuros (S)	mg/L	1,0	863	23	915	43	894	34
Sulfatos (SO_4^{-2})	mg/L	400	1342	297	1254	252	1185	213
DQO	mg/L	500	19300	1230	17142	968	16223	854
DBO ₅ (5días)	mg/L	250	15634	745	12451	563	9586	398

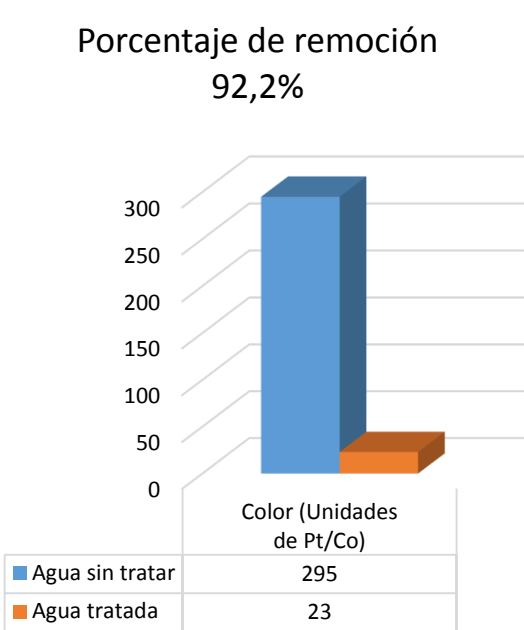
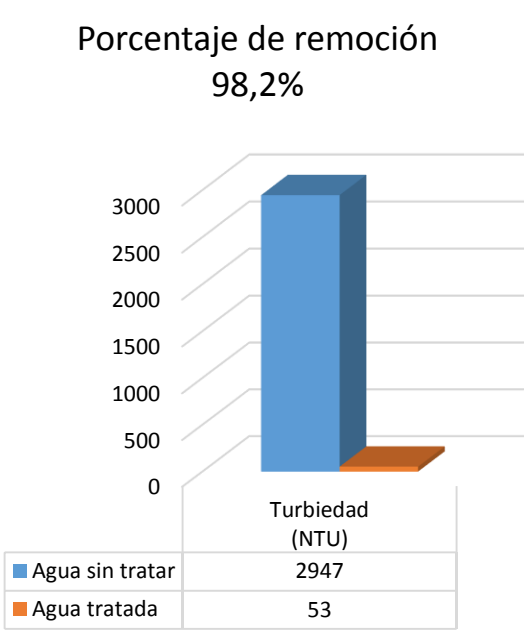
Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

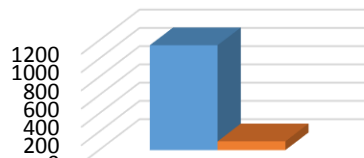
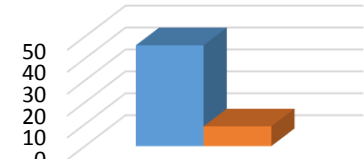
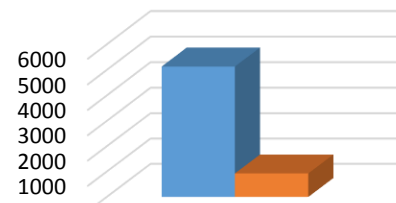
Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

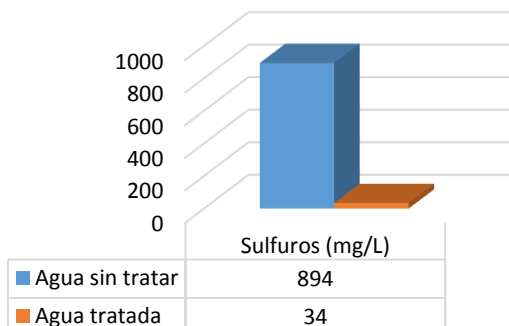
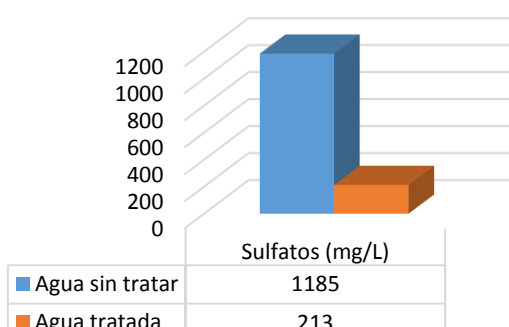
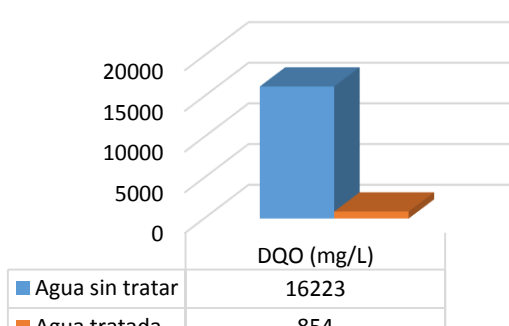
Al comparar los datos iniciales con los de la caracterización final tal como se muestra en la tabla 23-3, se puede ver que la mayoría de los parámetros se encuentran dentro de norma pudiendo ser descargado hacia el sistema de alcantarillado, sin embargo caso particular sucede que DQO, DBO₅ y sulfuros no cumplen con los valores establecidos por la normativa pero presentan valores bajos, el cual se decide hacer recircular el agua hacia las etapas de lavado y pelambre para que pueda ser reutilizado.

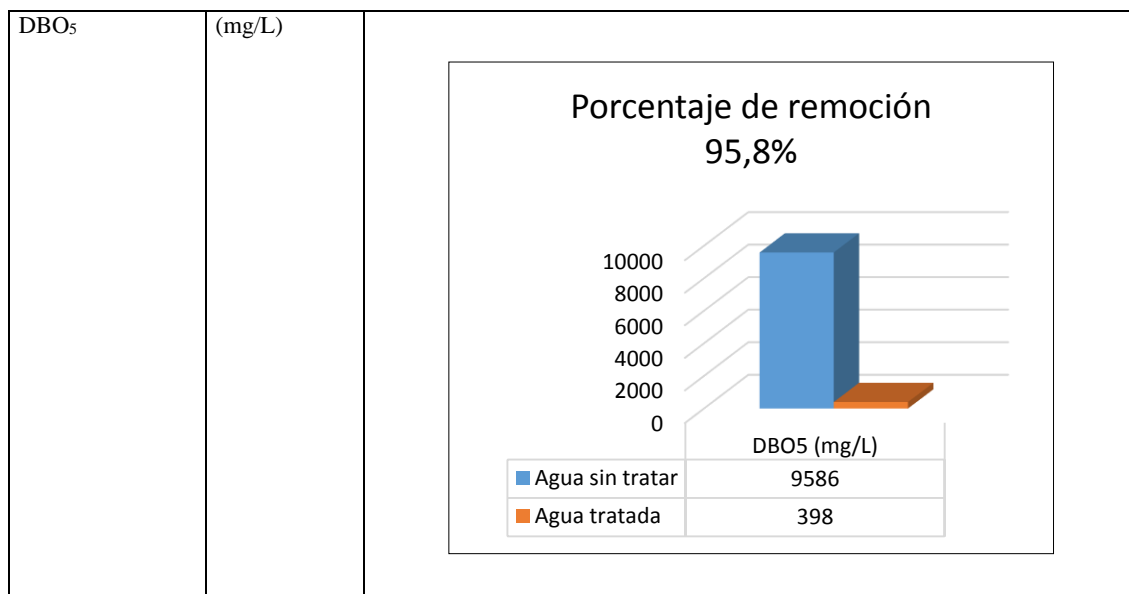
3.5.1.3 Eficiencia del sistema de tratamiento para agua de pelambre

Tabla 24-3: Resultados de remoción del agua tratada de pelambre

Parámetro	Unidad	% de Remoción						
Color	Unidades de Pt/Co	<p>Porcentaje de remoción 92,2%</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Color (Unidades de Pt/Co)</th> <th>Agua sin tratar</th> <th>Agua tratada</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>295</td> <td>295</td> <td>23</td> </tr> </tbody> </table>	Color (Unidades de Pt/Co)	Agua sin tratar	Agua tratada	295	295	23
Color (Unidades de Pt/Co)	Agua sin tratar	Agua tratada						
295	295	23						
Turbiedad	NTU	<p>Porcentaje de remoción 98,2%</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Turbiedad (NTU)</th> <th>Agua sin tratar</th> <th>Agua tratada</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2947</td> <td>2947</td> <td>53</td> </tr> </tbody> </table>	Turbiedad (NTU)	Agua sin tratar	Agua tratada	2947	2947	53
Turbiedad (NTU)	Agua sin tratar	Agua tratada						
2947	2947	53						

Sólidos Suspendidos Totales	(mg/L)	<div><p>Porcentaje de remoción 91,6%</p><table><tr><th colspan="2">Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)</th></tr><tr><td>Agua sin tratar</td><td>1149</td></tr><tr><td>Agua tratada</td><td>96</td></tr></table></div>	Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)		Agua sin tratar	1149	Agua tratada	96
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)								
Agua sin tratar	1149							
Agua tratada	96							
Sólidos Disueltos Totales	(mL/L)	<div><p>Porcentaje de remoción 80,4%</p><table><tr><th colspan="2">Sólidos Disueltos Totales (mL/L)</th></tr><tr><td>Agua sin tratar</td><td>46</td></tr><tr><td>Agua tratada</td><td>9</td></tr></table></div>	Sólidos Disueltos Totales (mL/L)		Agua sin tratar	46	Agua tratada	9
Sólidos Disueltos Totales (mL/L)								
Agua sin tratar	46							
Agua tratada	9							
Sólidos Totales	(mg/L)	<div><p>Porcentaje de remoción 91,9%</p><table><tr><th colspan="2">Sólidos Totales (mg/L)</th></tr><tr><td>Agua sin tratar</td><td>5132</td></tr><tr><td>Agua tratada</td><td>928</td></tr></table></div>	Sólidos Totales (mg/L)		Agua sin tratar	5132	Agua tratada	928
Sólidos Totales (mg/L)								
Agua sin tratar	5132							
Agua tratada	928							

Sulfuros (S)	(mg/L)	<div><p>Porcentaje de remoción 96,2%</p><table><tr><th></th><th>Sulfuros (mg/L)</th></tr><tr><td>Agua sin tratar</td><td>894</td></tr><tr><td>Agua tratada</td><td>34</td></tr></table></div>		Sulfuros (mg/L)	Agua sin tratar	894	Agua tratada	34
	Sulfuros (mg/L)							
Agua sin tratar	894							
Agua tratada	34							
Sulfatos (SO_4^{-2})	(mg/L)	<div><p>Porcentaje de remoción 82%</p><table><tr><th></th><th>Sulfatos (mg/L)</th></tr><tr><td>Agua sin tratar</td><td>1185</td></tr><tr><td>Agua tratada</td><td>213</td></tr></table></div>		Sulfatos (mg/L)	Agua sin tratar	1185	Agua tratada	213
	Sulfatos (mg/L)							
Agua sin tratar	1185							
Agua tratada	213							
DQO	(mg/L)	<div><p>Porcentaje de remoción 94,7%</p><table><tr><th></th><th>DQO (mg/L)</th></tr><tr><td>Agua sin tratar</td><td>16223</td></tr><tr><td>Agua tratada</td><td>854</td></tr></table></div>		DQO (mg/L)	Agua sin tratar	16223	Agua tratada	854
	DQO (mg/L)							
Agua sin tratar	16223							
Agua tratada	854							



Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

3.5.2 Agua Residual de Curtido

3.5.2.1 Ensayos de tratabilidad para agua de curtido

✓ Precipitación de cromo

Previo a los procesos de coagulación-floculación fue necesario realizar la precipitación de cromo presente en el agua residual mediante dosificación de cal P-24, debido a que esta operación trabaja a valores de pH que oscilan entre 8-9, ideal para llevar a cabo dicho proceso, se realizó a través del siguiente procedimiento:

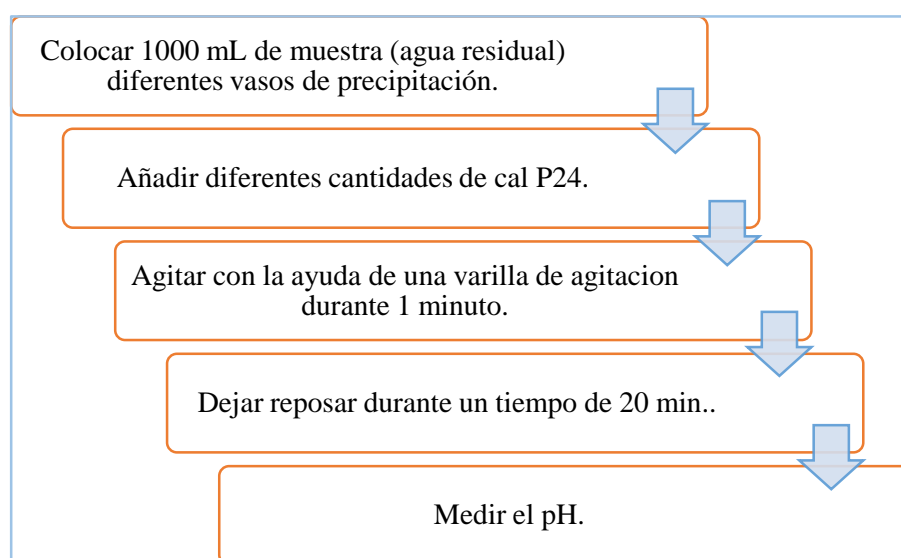


Gráfico 3-3: Procedimiento para precipitar cromo.

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

A continuación, en la tabla 25-3 se indican los respectivos resultados obtenidos del ensayo N° 01:

Tabla 25-3: Resultados de la dosificación de cal P-24.

Volumen de muestra= 1000 mL; pH inicial = 3.75	
Dosificación de Cal P-24 (g)	pH
4	5,7
6	6,5
8	7,5
10	8,5
12	9,5
14	10,5

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

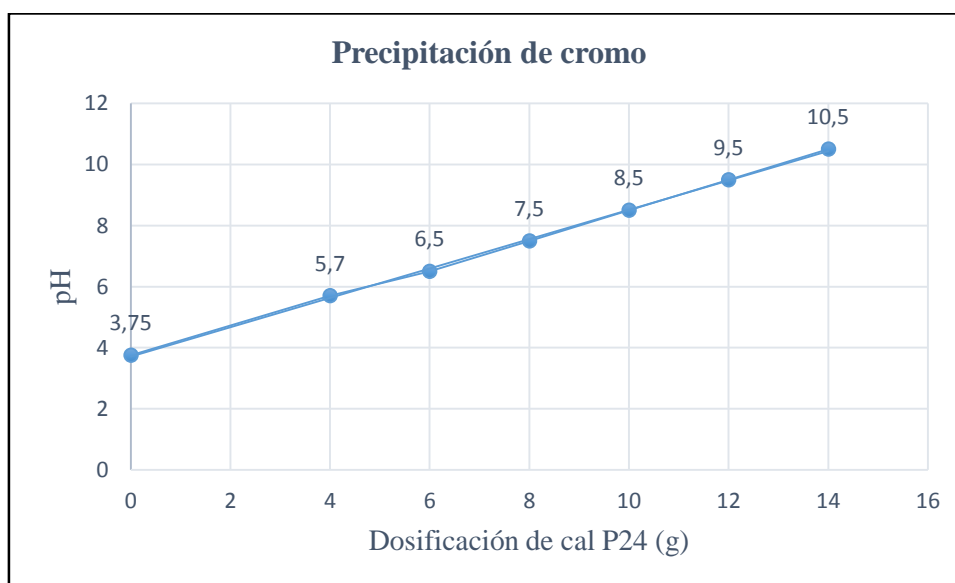


Gráfico 4-3: Resultados de la dosificación de cal P24 para ajustar el pH.

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

Del gráfico 4-3 y tabla 25-3 se puede observar que la dosis de 10 gramos de cal P-24 actúa de mejor manera para precipitar cromo para un volumen de 1000 mL de agua residual, dicha dosificación permite obtener un pH dentro de los rangos establecidos con valor de 8,5 ideal para proceder a los procesos de coagulación y floculación. Con la dosificación que dio mejores resultados en el ensayo inicial se efectuó nuevas pruebas, esto con el fin evitar el uso de cantidades elevadas de cal P24 y corroborar datos, a continuación, se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla 26-3: Dosificación de cal P-24 para el ajuste de pH.

Ensayo N° 02		Ensayo N° 03	
Volumen de muestra = 1000 mL; pH inicial = 3,80		Volumen de muestra = 1000 mL; pH inicial = 4,2	
Dosificación de cal P24 (g)	pH	Dosificación de cal P24 (g)	pH
10	8,3	10	8,42
Promedio (E1, E2, E3) = 10 (g) de cal P24			

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

Como se puede apreciar en la tabla 26-3, al añadir los 10 gramos de cal P-24 a cada muestra se observa que el cromo se precipita con pH dentro del rango requerido, obteniéndose el ajuste necesario para comenzar con los procesos posteriores.

✓ Dosificación de coagulante-floculante

Para seleccionar el tipo de coagulante - floculante más idóneo se realizó mediante la prueba de jarras haciendo uso de los productos químicos mencionados anteriormente, para ello se basó en el procedimiento siguiente:

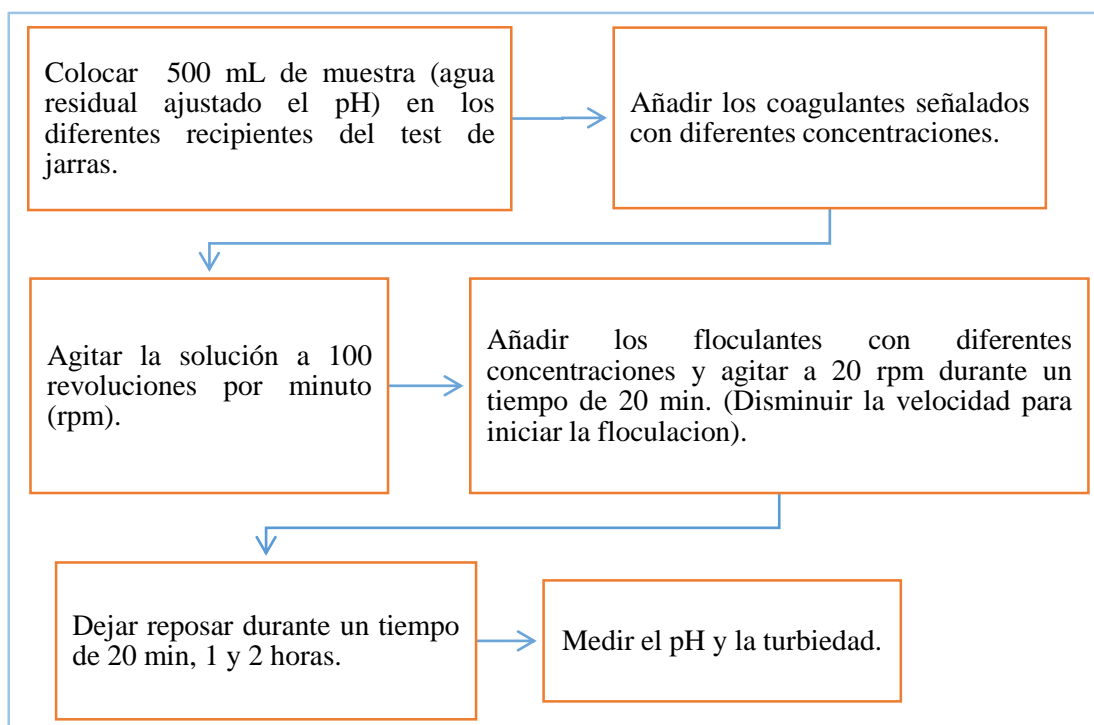


Gráfico 5-3: Procedimiento para coagulación y floculación

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

Selección del coagulante. Ensayo N° 01

Tabla 27-3: Resultados de la selección de coagulante para agua de curtido

Volumen de muestra = 500 mL; pH ajustado = 8,38; Turbiedad inicial (NTU) = 1452; Velocidad de agitación = 100 rpm.						
Tipo de coagulante	Dosificación (mL)	pH	Turbiedad final (NTU)			% Remoción (2 h)
			Tiempo (20 min)	Tiempo (1 h)	Tiempo (2 h)	
Cloruro férrico al 2%	10	8,45	124,3	87	15,8	98,9
Policloruro de aluminio al 2%	10	8,28	104	43,5	8,05	99,4
Sulfato de aluminio al 2%	10	8,42	100	65,8	22,7	98,4

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

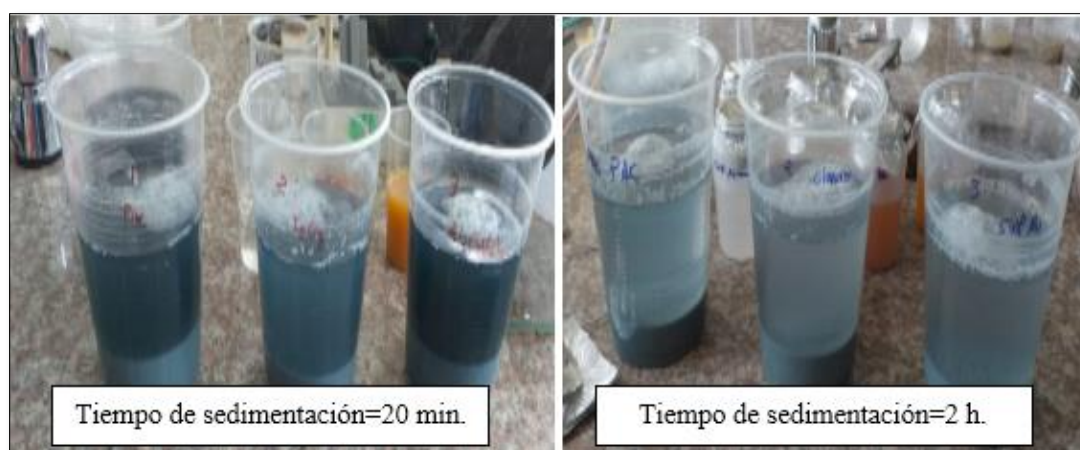


Figura 7-3: Agua residual luego de la dosificación de coagulantes

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

Conforme a los resultados de la tabla 27-3 y figura 7-3, se puede apreciar que el tiempo de sedimentación juega un papel muy importante en la remoción de turbiedad, puesto que la turbiedad en un tiempo de 20 min no se vio reflejada, es así que se vio la necesidad de prolongar a un tiempo de 1 y 2 horas cuyos resultados indican que a 2 horas se obtiene valores bajos de turbiedad. De hecho, en 2 horas el PAC y cloruro férrico presentan un buen % de remoción con valores de 99,4% y 98,9% respectivamente, mientras que el sulfato de aluminio tiene 98,4 % siendo este descartado del ensayo porque la reducción de turbiedad es menor respecto a los otros; cabe indicar que el pH no se vio afectado en ningún caso; con los coagulantes que dieron mejores resultados en el primer ensayo se realizó nuevas pruebas, cuyos resultados se resumen en la siguiente tabla:

Selección del coagulante. Ensayo N° 02

Tabla 28-3: Determinación de tipo de coagulante para agua de curtido. Ensayo N° 02

Volumen de muestra = 500 mL; pH ajustado = 8,26; Turbiedad inicial (NTU) = 1452; Velocidad de agitación = 100 rpm.				
Tipo de coagulante	Dosificación (mL)	Turbiedad final (NTU)		% de Remoción Tiempo (2 h)
		Tiempo (20 min)	Tiempo (2 h)	
Cloruro férrico 2%	5	132,57	38,5	97,3
Policloruro de aluminio 2%	5	40,96	6,1	99,6

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.



Figura 8-3: Agua residual tratada con PAC y Cloruro férrico

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

Como se puede apreciar en la tabla 28-3 y la figura 8-3, los resultados indican que el coagulante más idóneo para tratar este tipo de aguas es el Policloruro de Aluminio (PAC) al 2% debido a que se obtuvo un 99,6% de remoción de turbiedad mientras que con el cloruro férrico presentó un 97,3%, claro está que no existe una variación significativa pero para la elección también se tomó en cuenta que este coagulante es más costoso que el PAC y además genera lodos con contenido de hierro, el pH no tuvo variación en ningún caso. Por tanto, a fin de determinar la cantidad exacta de PAC que debe ser añadida se realizó un tercer ensayo, como se indica en la siguiente tabla:

Dosificación de Policloruro de Aluminio (PAC) al 2%

Tabla 29-3: Determinación de la concentración de PAC al 2% para agua de curtido

Volumen de muestra = 500 mL; pH ajustado = 8,46; Turbiedad inicial (NTU) = 1452; Color (Pt/Co) = 1502; Velocidad de agitación = 100 rpm; tiempo de sedimentación=2h.					
Concentración de PAC (ppm)	Dosificación de PAC (mL)	Turbiedad final (NTU)	Color final (Pt/Co)	% de Remoción	
				Turbiedad	Color
8	0,2	12,06	465	99,2	69
20	0,5	16,25	446	98,9	70
40	1,0	9,45	422	99,3	71,9
60	1,5	11,33	415	99,2	72,3
80	2	17,54	409	98,8	72,7
100	2,5	18,23	395	98,7	73,7

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.



Figura 9-3: Agua residual tratada a diferentes concentraciones

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

De acuerdo a los resultados conseguidos en la tabla 29-3 y figura 9-3 se observa que al adicionar PAC con concentraciones mayor a 40 ppm (1mL) existe mayor % de remoción de color, sin embargo, la reducción de turbiedad es menor, en este caso con la finalidad de evitar el uso de mayor cantidad de coagulante (PAC) y generar gastos económicos en el respectivo tratamiento se determina que el PAC con concentración igual a 40 ppm (1 mL) brinda el 99,3% de remoción de turbiedad y 71,9% de color.

Selección del Floculante. Ensayo N° 01

Tabla 30-3: Determinación de tipo de floculante para agua de curtido

V muestra = 500 mL; Concentración de PAC al 2% = 40 ppm (1 mL); Turbiedad inicial (NTU) = 1452; Velocidad de agitación = 20 rpm (durante 20 min).				
Tipo de floculante	Concentración de floculante (ppm)	Turbiedad final (NTU)		
		Tiempo (20 min)	Tiempo (1 h)	Tiempo (2 h)
Aniónico	2	78	38	4,7
No iónico	2	227	76	11,27
Catiónico	2	573	108	13,7

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.



Figura 10-3: Agua residual tratada con PAC al 2% y diferentes floculantes.

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

Como se puede apreciar de la tabla 30-3 y figura 10-3, el floculante que brinda una buena reducción de turbiedad es el de tipo aniónico cosa que no sucede con los otros tipos, para evitar el uso de cantidades elevadas de floculantes y costos económicos se realizó un segundo ensayo con el floculante que dio mejores resultados en el primer ensayo, como se muestra en la tabla siguiente:

Dosificación de Floculante Aniónico

Tabla 31-31: Determinación de concentración de floculante aniónico para agua de curtido

V muestra = 500 mL; Turbiedad inicial (NTU) = 1452; Concentración de PAC al 2% = 40 ppm			
Concentración de floculante aniónico (ppm)	Turbiedad final (NTU)		
	Tiempo (20 min)	Tiempo (1 h)	Tiempo (2 h)
0,5	195	132	22
1	211	90	15
1,5	177	92,8	11
2	135	80,4	9,7
2,5	161	93	17,8

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

Conforme a los resultados de la tabla 31-3, se indica que la concentración de floculante aniónico más idóneo es el de 2 ppm debido que existe mayor reducción de turbiedad mientras que si se añade mayor o menor a 2 ppm la reducción de turbiedad es menor.

Resultados finales de la Prueba de Jarras

Tabla 32-3: Resultados Finales de la Prueba de Jarras

V muestra = 500 mL; pH ajustado = 8,43; Turbiedad inicial (NTU) = 1452		
Precipitación de cromo	Dosis de Cal P-24	5 g.
Coagulación	Concentración de PAC al 2%.	40 ppm
	Velocidad de agitación	100 rpm
	Tiempo de mezcla	1 min
Floculación	Concentración de floculante aniónico	2 ppm
	Velocidad de agitación	20 rpm
	Tiempo de mezcla	20 min
Tiempo de sedimentación	2 horas	
Turbiedad final	9,45 NTU	
Color (Pt/Co)	422	

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

Conforme a la tabla 32-3, indica que los mejores resultados para llevar a cabo los procesos de coagulación-floculación se dan al usar como coagulante el PAC al 2% y floculante de tipo aniónico en cantidades adecuadas y condiciones señaladas; el tiempo de sedimentación es muy importante puesto que de esta variable depende el % de remoción de turbiedad, color y demás parámetros.

3.5.2.2 Sistema de tratamiento para agua de curtido

A continuación, se describe el sistema de tratamiento completo que se llevó a cabo a nivel de laboratorio:

✓ **Precipitación de cromo**

Tabla 33-3: Resultados de la dosificación de cal P-24

V muestra = 1000 ml; pH inicial = 3,75; Turbiedad inicial (NTU) = 1452	
Dosificación de Cal P-24 (g)	pH
10	8,48

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

Al agregar los 10 gramos de Cal P-24 se logró que el pH se ajustará a valores dentro del rango establecido, considerándose ideal para comenzar con los procesos de coagulación y floculación. A este fenómeno se le conoce como precipitación de cromo, puesto que el pH al cual es ajustado es adecuado para precipitar dicho compuesto.

✓ Coagulación – floculación y sedimentación

Tabla 34-3: Resultados de policloruro de aluminio (PAC) al 2% y floculante

pH ajustado = 8,48; Turbiedad inicial (NTU) = 1452; Color (Pt/Co) = 1502					
Concentración de PAC (ppm)	Concentración de floculante (ppm)	Turbiedad final (NTU)	Color final (Pt/Co)	% de Remoción	
				Turbiedad	Color
40	2	9,45	422	99,3	71,9

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

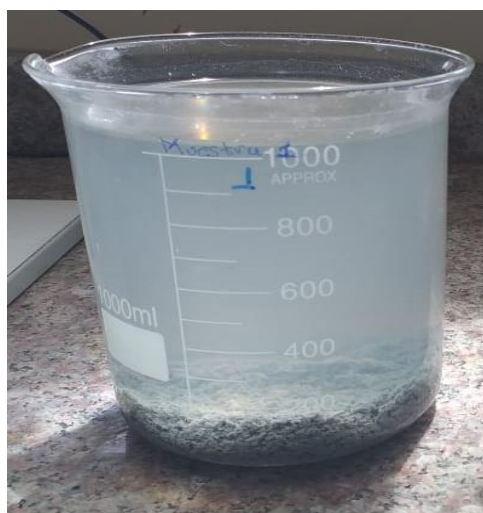


Figura 11-3: Agua tratada con PAC y floculante

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

Una vez efectuado los procesos de coagulación – floculación, fue necesario dejar sedimentar durante 2 horas, tiempo ideal en el que los sólidos por efecto de la gravedad y acción de productos químicos se decantan y van hacia la parte inferior del recipiente tal como se puede apreciar en la figura 11-3. De acuerdo a la tabla 34-3 cuyos resultados indican que al emplear dichos procesos se consigue un buen % de remoción de turbiedad y color, sin embargo, se pudo observar que el agua todavía presentaba una coloración notable, a fin de remover y reducir dicho aspecto se procede a la siguiente operación.

A fin de corroborar los resultados obtenidos se realizó a tres nuestras diferentes, tal como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 35-3: Resultados de la caracterización del agua tratada procedente de la etapa de curtido

Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible	Resultados de la caracterización inicial y final					
			(M1)		(M2)		(M3)	
			Agua sin tratar	Agua Tratada	Agua Sin tratar	Agua tratada	Agua sin tratar	Agua tratada
Temperatura	°C	<40	29	20	24,3	20,5	25,6	21
Color	Unidades de Pt/Co	-	1502	80	1380	35	1480	35
pH	-	5-9	3,75	6,4	3,92	5,90	4,24	6,01
Turbiedad	NTU	-	1452	1,56	1800	0,35	2270	2,75
Densidad	kg/m ³	-	1395,4	1087	1023	1059,64	1037,4	1059,64
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	220	1640	5	937	3	1143	16
Sólidos Disueltos Totales	ml/L	-	80	0,85	65	0,57	60	0,49
Sólidos Totales	mg/L	1600	2540	25,27	2840	25,24	3026	25,24
Cromo Total	mg/L	-	1739,84	14,05	232,50	11,45	141,09	9,32
Cromo hexavalente	mg/L	0,5	0,42	0,027	0,83	0,013	0,76	0,0078
DQO	mg/L	500	9700	1420	3500	930	5400	736
DBO5	mg/L	250	2800	320	1600	290	2660	143

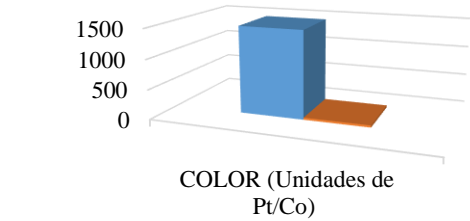
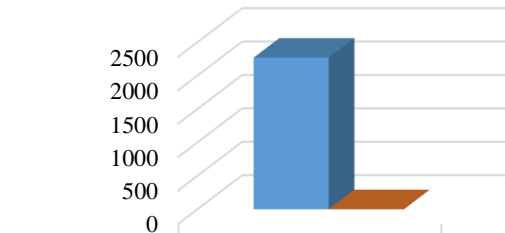
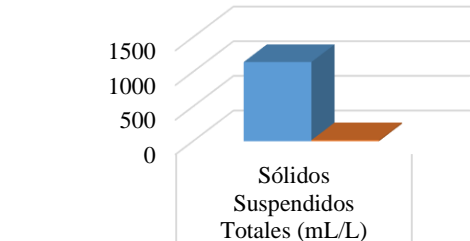
Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH. Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH.

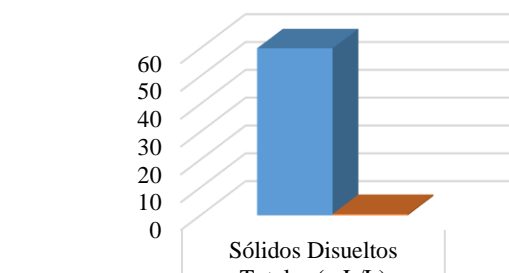
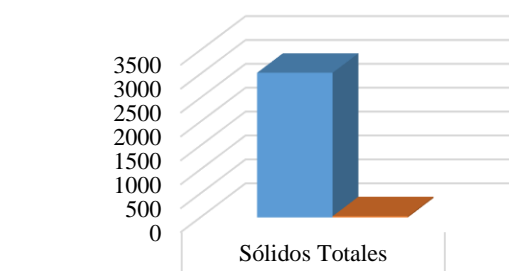
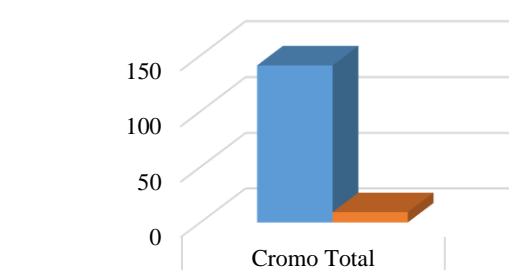
Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

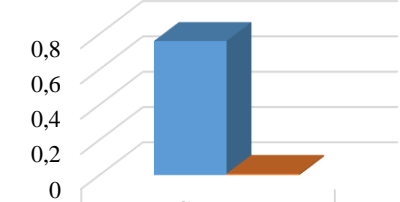
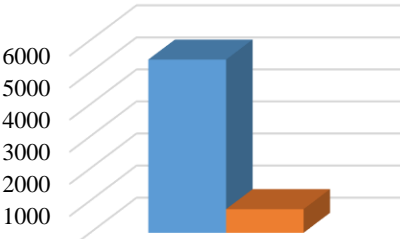
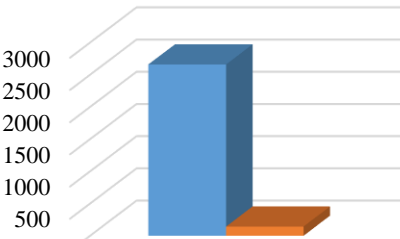
Habiendo efectuado el sistema de tratamiento para el agua residual de la etapa de curtido y conforme a los resultados de la tabla 35-3, se logra indicar que los resultados de los parámetros analizados de las tres muestras se encuentran dentro del límite permisible establecido, sin embargo el DQO en las tres muestras se encuentra fuera del valor establecido por la norma mientras que el DBO5 de la tercera muestra está dentro del límite, por lo cual se define recircular el agua.

3.5.2.3 Eficiencia del sistema de tratamiento para agua de curtido

Tabla 36-3: Resultados de remoción del agua tratada de curtido

Parámetro	Unidad	% de Remoción						
Color	Unidades de Pt/Co	<div><p>Porcentaje de Remoción 97,6%</p><p>COLOR (Unidades de Pt/Co)</p><table><tr><td>■ Agua sin tratar</td><td>COLOR (Unidades de Pt/Co)</td><td>1480</td></tr><tr><td>■ Agua tratada</td><td></td><td>35</td></tr></table></div>	■ Agua sin tratar	COLOR (Unidades de Pt/Co)	1480	■ Agua tratada		35
■ Agua sin tratar	COLOR (Unidades de Pt/Co)	1480						
■ Agua tratada		35						
Turbiedad	NTU	<div><p>Porcentaje de remoción 99,88 %</p><p>Turbiedad (NTU)</p><table><tr><td>■ Agua sin tratar</td><td>Turbiedad (NTU)</td><td>2270</td></tr><tr><td>■ Agua tratada</td><td></td><td>2,75</td></tr></table></div>	■ Agua sin tratar	Turbiedad (NTU)	2270	■ Agua tratada		2,75
■ Agua sin tratar	Turbiedad (NTU)	2270						
■ Agua tratada		2,75						
Sólidos Suspendidos Totales	(mg/L)	<div><p>Porcentaje de remoción 98,6 %</p><p>Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)</p><table><tr><td>■ Agua sin tratar</td><td>Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)</td><td>1143</td></tr><tr><td>■ Agua tratada</td><td></td><td>16</td></tr></table></div>	■ Agua sin tratar	Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	1143	■ Agua tratada		16
■ Agua sin tratar	Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	1143						
■ Agua tratada		16						

Sólidos Disueltos Totales	(mL/L)	<div><p>Porcentaje de remoción 99,2%</p><table><tr><th colspan="2">Sólidos Disueltos Totales (mL/L)</th></tr><tr><td>■ Agua sin tratar</td><td>60</td></tr><tr><td>■ Agua tratada</td><td>0,49</td></tr></table></div>	Sólidos Disueltos Totales (mL/L)		■ Agua sin tratar	60	■ Agua tratada	0,49
Sólidos Disueltos Totales (mL/L)								
■ Agua sin tratar	60							
■ Agua tratada	0,49							
Sólidos Totales	(mg/L)	<div><p>Porcentaje de remoción 99,2%</p><table><tr><th colspan="2">Sólidos Totales (mg/L)</th></tr><tr><td>■ Agua sin tratar</td><td>3026</td></tr><tr><td>■ Agua tratada</td><td>25,24</td></tr></table></div>	Sólidos Totales (mg/L)		■ Agua sin tratar	3026	■ Agua tratada	25,24
Sólidos Totales (mg/L)								
■ Agua sin tratar	3026							
■ Agua tratada	25,24							
Cromo Total	(mg/L)	<div><p>Porcentaje de remoción 93,4%</p><table><tr><th colspan="2">Cromo Total (mg/L)</th></tr><tr><td>■ Agua sin tratar</td><td>141,09</td></tr><tr><td>■ Agua tratada</td><td>9,32</td></tr></table></div>	Cromo Total (mg/L)		■ Agua sin tratar	141,09	■ Agua tratada	9,32
Cromo Total (mg/L)								
■ Agua sin tratar	141,09							
■ Agua tratada	9,32							

Cromo Hexavalente	(mg/L)	<div><p>Porcentaje de remoción 99,0%</p><table><thead><tr><th></th><th>Cromo hexavalente (mg/L)</th></tr></thead><tbody><tr><td>Agua sin tratar</td><td>0,76</td></tr><tr><td>Agua tratada</td><td>0,0078</td></tr></tbody></table></div>		Cromo hexavalente (mg/L)	Agua sin tratar	0,76	Agua tratada	0,0078
	Cromo hexavalente (mg/L)							
Agua sin tratar	0,76							
Agua tratada	0,0078							
DQO	(mg/L)	<div><p>Porcentaje de remoción 86,4%</p><table><thead><tr><th></th><th>DQO (mg/L)</th></tr></thead><tbody><tr><td>Agua sin tratar</td><td>5400</td></tr><tr><td>Agua tratada</td><td>736</td></tr></tbody></table></div>		DQO (mg/L)	Agua sin tratar	5400	Agua tratada	736
	DQO (mg/L)							
Agua sin tratar	5400							
Agua tratada	736							
DBO ₅	(mg/L)	<div><p>Porcentaje de remoción 94,6%</p><table><thead><tr><th></th><th>DBO5 (mg/L)</th></tr></thead><tbody><tr><td>Agua sin tratar</td><td>2660</td></tr><tr><td>Agua tratada</td><td>143</td></tr></tbody></table></div>		DBO5 (mg/L)	Agua sin tratar	2660	Agua tratada	143
	DBO5 (mg/L)							
Agua sin tratar	2660							
Agua tratada	143							

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH. Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH.
Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

3.6 Diseño del sistema de tratamiento para agua residual de la Curtiduría “San Isidro”

La curtiduría “San Isidro” procesa 600 pieles mensualmente y se efectúa 1 carga de 150 pieles por semana y durante el mes 4 cargas ya que la capacidad máxima de los fulones es de 200 pieles, pues como producto de este proceso se genera los afluentes y residuos sólidos.

3.6.1 Sistema de tratamiento para afluente del proceso de pelambre

3.6.1.1 Cálculo de caudal

El caudal se determinó por método volumétrico, este dato se obtuvo de la descarga de los bombos en función del tiempo, pues para tomar el caudal se consideró los días de mayor producción y en base a la cantidad de agua utilizada en los respectivos procesos.

$$Q_{pelambre} = 3,0 \text{ m}^3/\text{día}$$

✓ Caudal de diseño

Para calcular el caudal de diseño es importante considerar un factor de seguridad del 30%, esto con el fin de evitar rebose del agua, se determina mediante la siguiente ecuación:

$$Q_d = Q_c + Q_c * fs$$

Ecuación 2-3

$$Q_d = 3,0 \text{ m}^3/\text{día} + (3,0 * 0,30) \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_d = 3,9 \text{ m}^3/\text{día}$$

Dónde:

Q_d : Caudal de diseño, (m^3/s).

Q_c : Caudal calculado o real, (m^3/s).

fs : Factor de seguridad, (30%).

3.6.1.2 Canal de entrada a la planta de tratamiento de aguas residuales

El canal de entrada por donde circulará el agua residual hacia la planta depuradora será mediante un canal de sección rectangular, esto debido a su fácil operación y en un futuro permita disminuir costes de implementación. Cuyo diseño se establece haciendo uso de fórmulas, las cuales están

estrechamente relacionadas entre la capacidad de conducción y la forma, pérdida de carga y la rugosidad de las paredes mediante la ecuación de Manning. (Lozano, 2012)

✓ **Consideraciones de diseño:**

Tabla 37-3: Revisión de la capacidad de conducción de los canales revestidos

Anchura del fondo (m)	Altura del agua (m)	Pendiente longitudinal (porcentaje)			
		0,02	0,05	0,10	0,15
0,30	0,30	20-30*	30-40	40-60	40-70
0,50	0,40	40-70	70-120	100-160	120-200
0,80	0,60	140-240	230-370	320-530	400-650

Fuente: (Estructura de conducción de agua-FAO).

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

✓ **Área del canal**

$$A_c = b * h$$

Ecuación 3-3

$$A_c = (0,50 \text{ m})(0,4 \text{ m})$$

$$A_c = 0,20 \text{ m}^2$$

Dónde:

A_c : Área del canal, (m^2).

b : Ancho del canal, (m).

h : Altura del canal hasta el nivel del agua, (m).

✓ **Radio hidráulico del canal**

$$R_h = \frac{b * h}{b + 2h}$$

Ecuación 4-3

$$R_h = \frac{(0,50 \text{ m})(0,4 \text{ m})}{0,50 \text{ m} + 2(0,4 \text{ m})}$$

$$R_h = 0,153 \text{ m}$$

Dónde:

R_h : Radio hidráulico, (m).

b : Ancho del canal, (m).

h : Altura del canal hasta el nivel de agua, (m).

- ✓ Velocidad media de la corriente por el canal

Es de suma importancia determinar la velocidad con el cual el agua residual procedente de la etapa de pelambre circula por el canal para que reciba el respectivo tratamiento, pues para ello se requiere emplear el coeficiente de Manning de acuerdo al tipo del canal a construir.

Tabla 38-3: Coeficiente de rugosidad de Manning de acuerdo a Chow en canales abiertos

Tipo de material de revestimiento	Coeficiente de Manning (n)
Ladrillo barnizado o lacado	0,013
Ladrillo con mortero de cemento	0,015
Hormigón de superficie lisa	0,013
Hormigón de superficie rugosa	0,013
Membrana de plástico sumergida	0,027

Fuente: (Estrada , 2013 pág. 38); (Sotelo, 2002 págs. 105-107)
Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

$$v_m = \frac{1}{n} * R_h^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Ecuación 5-3

$$v_m = \frac{1}{0,013} * (0,153)^{2/3} * (0,0002)^{1/2}$$

$$v_m = 0,311 \text{ m/s}$$

Dónde:

v_m : Velocidad media de la corriente que circula por el canal, (m/s).

n : Coeficiente de rugosidad.

R_h : Radio hidráulico, (m).

S : Gradiente hidráulico, (m/m).

- ✓ Altura máxima del agua

Tomando en cuenta que el afluente líquido circulará por un canal abierto, se tiene la siguiente expresión:

$$h = \frac{b}{2}$$

Ecuación 6-3

Haciendo la relación entre $b = 2h$ y $A = b * h$ se deduce la siguiente ecuación:

$$h_{m\acute{a}x} = \sqrt{\frac{A_c}{2}}$$

Ecuación 7-3

$$h_{m\acute{a}x} = \sqrt{\frac{0,20 \text{ m}^2}{2}}$$

$$h_{m\acute{a}x} = 0,32 \text{ m}$$

Dónde:

$h_{m\acute{a}x}$: Altura máxima de agua, (m)

A_c : Área del canal, (m^2).

b : Ancho del canal, (m).

✓ Altura total del canal

A fin de evitar el rebose de agua se considera un factor de seguridad del 20%

$$H_c = h + h_s$$

Ecuación 8-3

$$H_c = (0,40 + 0,20)m$$

$$H_c = 0,60 \text{ m}$$

Dónde:

H_c : Altura total del canal, (m).

h : Altura del canal hasta el nivel del agua, (m).

h_s : Altura de seguridad, (m).

3.6.1.3 Dimensionamiento de rejillas de limpieza manual

Las rejillas son elementos con aberturas de tamaño uniforme, que permiten retener los sólidos gruesos (material flotante como: plásticos, restos de madera y vegetales, etc.) presente en el agua residual. Utilizadas como medio de protección de bombas, válvulas, conducciones y demás elementos que podrían causar daños y obstrucciones durante el tratamiento. (Eddy y Metcalf, 1995: pp. 251-254); (Lozano, 2012).

✓ **Rejillas de limpieza manual**

Comúnmente este tipo de rejas son empleados en plantas de tratamiento pequeñas debido a su fácil operación para retirar los sólidos.



Figura 12-3: Rejillas de limpieza manual
Fuente: (Lozano, 2012)

✓ **Consideraciones para el diseño de rejillas de limpieza manual:**

Tabla 39-3: Consideraciones de diseño para rejillas de limpieza manual

Características		Limpieza manual	Unidad
Espesor de la barra (e)		0,6-1,5	cm
Profundidad o altura (h)		2,5-7,5	cm
Separación entre barras (s)	Fina	0,5-1,5	cm
	Media	1,5-5,0	
	Gruesa	>5,0	
Ángulo de inclinación (θ)		25-50	Grados
Velocidad a través de las barras		0,3-0,6	m/s
Velocidad de aproximación		0,3-0,6	m/s
Pérdida de carga admisible(Pc)		15	cm

Fuente: (Lozano, 2012); (Eddy y Metcalf, 1995)

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

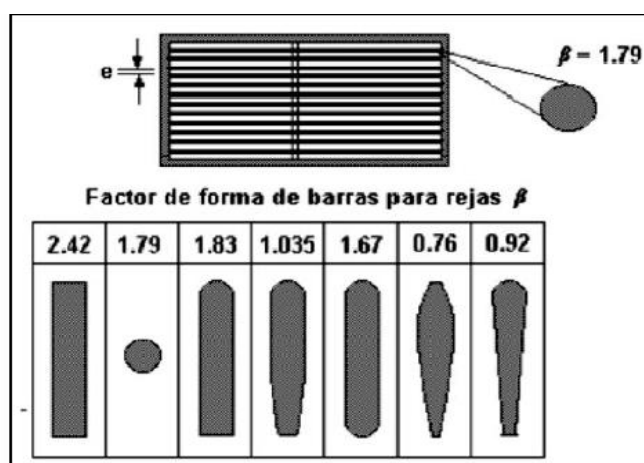


Gráfico 6-3: Valores del coeficiente β para rejillas
Fuente: (RASS, 2000; citado en Sepulveda et al., 2017: p.12)

- ✓ Longitud de las barras

$$L_b = \frac{h_{m\acute{a}x}}{\text{Sen}\theta}$$

Ecuación 9-3

$$L_b = \frac{0,32 \text{ m}}{\text{Sen } 45}$$

$$L_b = 0,45 \text{ m}$$

Dónde:

L_b : Longitud de las barras, (m).

$h_{m\acute{a}x}$: Altura máxima de agua, (m).

θ : Ángulo de inclinación, (45 grados).

- ✓ Número de barras para rejillas finas

$$N_b = \frac{b}{e + s}$$

Ecuación 10-3

$$N_b = \frac{0,50 \text{ m}}{(0,012 + 0,015)\text{m}}$$

$$N_b = 18,5 \approx 19$$

Dónde:

N_b : Número de barras

b : Ancho del canal, (m).

s : Separación entre barras, (m)

e : Espesor máximo de las barras, (m).

- ✓ Nivel máximo de agua

$$n_{m\acute{a}x} = \frac{Q_d}{v_m * b}$$

Ecuación 11-3

$$n_{m\acute{a}x} = \frac{4,51 * 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}{0,311 \text{ m/s} * 0,50 \text{ m}}$$

$$n_{m\acute{a}x} = 0,0003 \text{ m}$$

Dónde:

$n_{m\acute{a}x}$: Nivel máximo de agua, (m).

Q_d : Caudal de diseño, (m^3/s).

v_m : Velocidad media de la corriente por el canal, (m/s).

b : Ancho del canal, (m).

- ✓ Longitud sumergida de las barras

$$L_s = \frac{n_{m\acute{a}x}}{\text{sen}\theta}$$

Ecuación 12-3

$$L_s = \frac{0,0003 \text{ m}}{\text{sen } 45}$$

$$L_s = 0,0004 \text{ m}$$

Dónde:

L_s : Longitud sumergida de las barras, (m).

$n_{m\acute{a}x}$: Nivel máximo de agua, (m).

θ : Ángulo de inclinación, (45 grados).

- ✓ Pérdida de carga a través de las rejillas

$$h_c = \beta \left(\frac{b}{s} \right)^{4/3} * \frac{v_m^2}{2g} * \text{sen}\theta$$

Ecuación 13-3

$$h_c = 1,79 * \left(\frac{0,50}{0,015} \right)^{4/3} * \frac{(0,311)^2}{2(9,8)} * (\text{Sen } 45)$$

$$h_c = 0,67 \text{ m}$$

Dónde:

h_c : Pérdida de carga a través de las rejillas, (m).

β : Coeficiente de pérdida, (depende de la forma).

b : Ancho del canal, (m).

s : Separación entre barras, (m).

v_m : Velocidad media de la corriente por el canal, (m/s).

g : Gravedad, (9,8 m/s²).

3.6.1.4 Dimensionamiento del tanque de aireación

El tanque de aireación es diseñado con la finalidad de oxidar los sulfuros que se encuentran presentes en el agua residual de pelambre. Como catalizador se utiliza sulfato de manganeso el cual permite reducir el tiempo de reacción.

✓ **Consideraciones para el diseño de tanque de aireación**

El volumen del tanque de aireación debe tener el doble volumen de los efluentes a tratar con la finalidad de evitar rebalses ya que existe la formación de espuma, sin embargo, podría reducirse su tamaño al usar un agente antiespumante.

- El volumen de agua de pelambre a tratar es de **3,9 m³/día**
- Sistema de aireación: alimentación de un compresor.
- Altura del tanque de aireación: 1,8 m.
- La relación entre largo y ancho es (L/b=1,5).

✓ Longitud del tanque de aireación

$$L_{ta} = \sqrt{\frac{r * V_{dap}}{h}}$$

Ecuación 14-3

$$L_{ta} = \sqrt{\frac{(1,5) * (3,9 \text{ m}^3)}{1,8 \text{ m}}}$$

$$L_{ta} = 1,80 \text{ m}$$

Dónde:

L_{ta} : Longitud del tanque de aireación, (m).

V_{dap} : Volumen de diseño para agua de pelambre, (m³).

r : Relación entre largo y ancho, (L/b=1,5).

h : Altura del tanque, (m).

✓ Ancho del tanque de aireación

$$b_{ta} = \frac{L_{ta}}{r}$$

Ecuación 15-3

$$b_{ta} = \frac{1,80 \text{ m}}{1,5}$$

$$b_{ta} = 1,20 \text{ m}$$

Dónde:

b_{ta} : Ancho del tanque de aireación, (m).

L_{ta} : Longitud del tanque de aireación, (m).

r : Relación entre largo y ancho, ($L/b=1,5$).

✓ Altura total del tanque de aireación

$$H_{ta} = h (1 + fs)$$

Ecuación 16-3

$$H_{ta} = (1,8 \text{ m})(1 + 0,2)$$

$$H_{ta} = 2,16 \text{ m}$$

Dónde:

H_{ta} : Altura del tanque de aireación, (m).

h : Altura del tanque, (m).

fs : Factor de seguridad, (20%).

✓ Volumen real del tanque de aireación

$$V_{ta} = H_{ta} * L_{ta} * b_{ta}$$

Ecuación 17-3

$$V_{ta} = (2,16 \text{ m})(1,80 \text{ m})(1,20 \text{ m})$$

$$V_{ta} = 4,67 \text{ m}^3$$

Dónde:

H_{ta} : Altura del tanque de aireación, (m).

L_{ta} : Longitud del tanque de aireación, (m).

b_{ta} : Ancho del tanque de aireación, (m).

Cálculo del sistema de aireación

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) es uno de los parámetros que interviene en los procesos de aireación porque permite determinar la cantidad de oxígeno necesario que debe ser suministrado para eliminar la mayor concentración de los contaminantes presentes.

– **Consideraciones para el diseño del sistema de aireación:**

El tiempo de reacción puede reducirse considerablemente al utilizar un catalizador como es el sulfato de manganeso ($MnSO_4$), la cantidad adecuada dependerá del tipo de agua y conforme a diferentes ensayos realizados.

Comúnmente para sistemas sencillos, el aire es proporcionado mediante un compresor, en el que el aire es inyectado desde el fondo del tanque de aireación, por medio de una tubería o una placa perforada, cuyos orificios tienen un diámetro pequeño (alrededor de 0,5 mm).

La dosificación de oxígeno necesario es mucho mayor, debido a que depende de algunos factores tales como: concentración de sulfuro, temperatura, eficiencia del sistema de aireación (tamaño de las burbujas y tiempo de contacto). Razón por el cual, la selección de los sistemas de aireación debe realizarse cuidadosamente, esto con el fin de disminuir el uso de químicos, tiempo de operación y su factibilidad.

Tabla 40-3: Características físico-químicas del agua residual

Temperatura (°C)	Densidad (kg/m^3)	Viscosidad dinámica $N.s/m^2$
15	999,1	$1,139 * 10^{-3}$
20	998,2	$1,102 * 10^{-3}$
25	997,0	$0,890 * 10^{-3}$

Fuente: (Lara, 1999)

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

✓ Caudal de aire en función del DBO_5

$$Q_{aire} = 15634 \frac{mg\ DBO_5}{L} * \frac{1\ kg\ DBO_5}{10^6\ mg\ DBO_5} * \frac{1000\ L}{1\ m^3} * \frac{4,67\ m^3}{día} * \frac{154\ m^3\ aire}{1\ kg\ DBO_5} * \frac{1\ día}{24\ horas} * \frac{1\ hora}{60\ min}$$

$$Q_{aire} = 7,81\ m^3/min$$

Dónde:

Q_{aire} : Caudal de aire necesario para degradar el DBO_5 , (m^3/min).

$mg\ DBO_5/l$: Concentración de DBO_5 de la caracterización inicial, (valor mayor de los resultados).

Q_d : Caudal de diseño, ($m^3/día$).

Por lo tanto, para degradar 15634 $mg\ DBO_5/L$ se requiere de 7,81 $m^3\ aire/min$.

- ✓ Presión hidrostática del agua

$$P_{ha} = \rho * g * h_{ta}$$

Ecuación 18-3

$$P_{ha} = 998,2 \frac{kg}{m^3} * 9,8 \frac{m}{s^2} * 2,16 m = 21129,9 Pa$$

$$P_{ha} = 21129,9 Pa * \frac{1 atm}{101325 Pa} * \frac{14,7 Psi}{1 atm} = 3,07 Psi$$

Dónde:

P_{ha} : Presión hidrostática del agua, (psi).

ρ : Densidad del agua, (kg/m^3).

g : Gravedad, (m/s^2).

h_{ta} : Altura del tanque de aireación, (m).

- ✓ Presión absoluta

$$P_a = P_{ha} + P_{atm}$$

Ecuación 19-3

$$P_a = (3,07 + 14,85) Psi$$

$$P_a = 17,92 Psi$$

Dónde:

P_a : Presión absoluta, (psi).

P_{ha} : Presión hidrostática del agua, (psi).

P_{atm} : Presión atmosférica, (14,85 psi, presión atmosférica de Ambato).

- ✓ Potencia del compresor

$$P_c = \frac{Q_{aire} * R T_a}{75 * n * \varepsilon} \left[\left(\frac{P_a}{P_{atm}} \right)^{0,283} - 1 \right] * 0,7457$$

Ecuación 20-3

$$P_c = \frac{0,157 \frac{kg}{s} * 29,27 \frac{m}{K} * 293 K}{75 * 0,283 * 0,70} \left[\left(\frac{17,92 Psi}{14,85 Psi} \right)^{0,283} - 1 \right] * 0,7457$$

$$P_c = 3,69 KW = 4,95 Hp \approx 5 Hp$$

Dónde:

Q_{aire} : Caudal de aire de compresión, $7,81 \frac{m^3}{min} * \frac{1,2041 kg \text{ aire}}{1 m^3 \text{ aire}} * \frac{1 min}{60 s} = 0,157 kg/s$

R : Constante, (para el aire 29,27 m/K).

T_a : Temperatura ambiente, (20 °C).

P_a : Presión absoluta, (psi).

P_{atm} : Presión atmosférica, (psi).

n : Constante, (para el aire 0,283).

ε : Eficiencia, (70%).

– **Dosificación de sulfato de manganeso ($MnSO_4$) al 5%**

A nivel de laboratorio al añadir sulfato de manganeso al 5% en 1000 mL de agua residual de pelambre se obtuvo que el volumen que dio mejores resultados es de 6 mL (300 ppm).

Para calcular la dosificación de sulfato de manganeso se realizó en base al volumen del afluente de pelambre, empleado en el diseño del tanque de aireación.

$$D_{MnSO_4} = V_{dap} * C_2$$

Ecuación 21-3

$$D_{MnSO_4} = 3900 L * 300 \frac{mg}{1 L} * \frac{1 kg}{1 \times 10^6 mg}$$

$$D_{MnSO_4} = 1,17 \frac{kg MnSO_4}{carga}$$

Dónde:

D_{MnSO_4} : Dosis óptima de sulfato de manganeso, (kg/carga).

V_{dap} : Volumen de diseño para agua de pelambre, (L).

C_2 : Concentración de dosis óptima de $MnSO_4$, (300 ppm).

Para procesar las 600 pieles al mes se realiza 4 cargas o producción por lotes, por lo tanto la cantidad de $MnSO_4$ es de:

$$D_{MnSO_4} = 4 * 1,17 kg MnSO_4$$

$$D_{MnSO_4} = 4,68 kg \text{ de } MnSO_4 / mes$$

Por tanto, se deduce que para procesar 600 pieles al mes se necesita de 4,68 kg de sulfato de manganeso al 5%. La dosificación de sulfato de manganeso se realiza de forma manual.

3.6.1.5 Dimensionamiento de tanque sedimentador

El proceso de sedimentación permite la separación, por acción de la gravedad, los sólidos suspendidos que trae consigo el efluente, esto debido a que su peso específico es mayor que el del agua. El objetivo principal es conseguir un efluente clarificado y generar un lodo lo suficientemente concentrado, de manera que sea manejable para el respectivo tratamiento y la disposición final. (Eddy y Metcalf, 1995)

Para efectuar el mencionado proceso se requiere de tanques denominados sedimentadores, unidades donde se produce la precipitación de los lodos, de manera que los sólidos por su peso descienden hacia el fondo y a través de una tubería es descargado dicho residuo mientras que por la parte superior se descargará el agua clarificada. El funcionamiento de estas unidades depende del tipo de sedimentador a implementar y la calidad del agua.

Según Romero (2006, p. 184), menciona que las aguas que provienen de los procesos de coagulación o ablandamiento requieren un tiempo de retención de 2 a 4 horas, considera lo suficiente para llevarla al siguiente proceso. La mayoría de sólidos se separan durante la primera hora.

– Consideraciones de diseño

Sedimentador de forma circular y de fondo cónico debido a que se puede conseguir buen porcentaje de remoción y la fácil evacuación de lodos.

El tanque estará montado por un sistema de agitación, el cual consta de un impulsor tipo turbina de 6 palas planas, puesto que en este tanque se realizará la respectiva dosificación de coagulantes y floculantes y por lo visto se requiere de un medio para efectuar la operación de mezclado. Además, contendrá 2 placas deflectoras a fin de conseguir una mezcla homogénea, de manera que el líquido fluya radial y tangencialmente sin que se produzcan vórtices o remolinos.

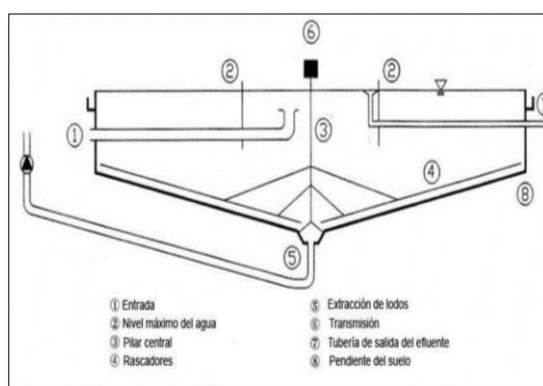


Gráfico 7-3: Tanque de sedimentación primaria circular
Fuente: Horan, 2003.

✓ Volumen del sedimentador

$$V_S = V_{ap} + V_{ap} * fs$$

Ecuación 22-3

$$V_S = 3,0 \text{ m}^3 + 3,0 \text{ m}^3 * 0,30$$

$$V_S = 3,9 \text{ m}^3$$

Dónde:

V_{ap} : Volumen de agua de pelambre, (m^3).

fs : Factor de seguridad, (30%).

✓ Volumen de la parte cilíndrica

A escala de laboratorio se obtuvo 0,108 L de lodos o fangos por cada litro de efluente tratada, por lo cual 3900 L de agua de pelambre generará $0,421 \text{ m}^3$ de lodo.

$$V_S = V_{SC} + V_{SCN}$$

Ecuación 23-3

$$V_{SC} = 3,9 \text{ m}^3 - 0,421 \text{ m}^3$$

$$V_{SC} = 3,48 \text{ m}^3$$

Dónde:

V_{SC} : Volumen del sedimentador parte cilíndrica, (m^3).

V_{SCN} : Volumen del sedimentador parte cónica, (m^3).

✓ Radio del sedimentador

$$r_{SC} = \sqrt{\frac{V_{SC}}{\pi * h_{SC}}}$$

Ecuación 24-3

$$r_{SC} = \sqrt{\frac{3,48 \text{ m}^3}{\pi * 2 \text{ m}}}$$

$$r_{SC} = 0,744 \text{ m}$$

Dónde:

r_{SC} : Radio del sedimentador parte cilíndrica, (m).

V_{SC} : Volumen del sedimentador parte cilíndrica, (m^3).

h_{SC} : Altura del sedimentador parte cilíndrica, (2 m).

✓ Diámetro del sedimentador

$$D_{SC} = 2 * r_{SC}$$

Ecuación 25-3

$$D_{SC} = 2 * (0,744)m$$

$$D_{SC} = 1,49 m$$

Dónde:

D_{SC} : Diámetro del sedimentador parte cilíndrica, (m).

r_{SC} : Radio del sedimentador parte cilíndrica, (m).

✓ Altura de la parte cónica

Mediante la ecuación que permite determinar el volumen de un tanque cilíndrico de tipo cónico, se tiene:

$$V_{SCN} = \frac{h_{SCN} * \pi}{3} [r_{SC}^2 + r_{SCN}^2 + (r_{SC}^2 * r_{SCN}^2)]$$

Ecuación 26-3

$$0,421 m^3 = \frac{h_{SCN} * \pi}{3} [0,744^2 + 0,04^2 + (0,744^2 * 0,04^2)]$$

$$h_{SCN} = 0,72 m$$

Dónde:

V_{SCN} : Volumen del sedimentador parte cónica, (m^3).

r_{SC} : Radio del sedimentador parte cilíndrica, (m).

r_{SCN} : Radio del sedimentador parte cónica, (m).

✓ Altura total del sedimentador

$$H_S = h_{SC} + h_{SCN}$$

Ecuación 27-3

$$H_S = 2 m + 0,72 m$$

$$H_S = 2,72 m$$

Dónde:

h_{SC} : Altura del sedimentador parte cilíndrica, (m).

h_{SCN} : Altura del sedimentador parte cónica, (m).

Sistema de agitación

Impulsor de turbina que contendrá 6 palas planas, debido a que permite trabajar en un amplio rango de viscosidades.

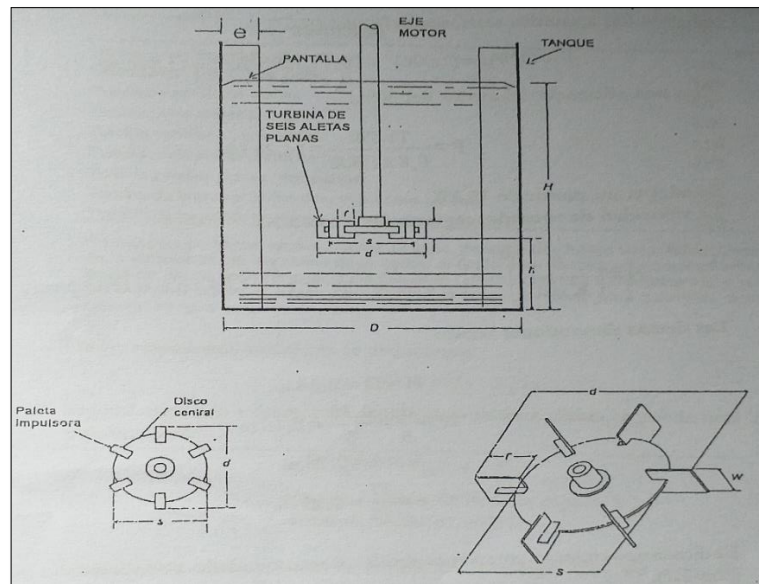


Figura 13-3: Mezclador rápido de turbina de seis paletas planas.
Fuente: (Romero, 2006, p. 66)

- **Consideraciones para el diseño**

Tabla 41-3: Valores de K para impulsores en tanques con baffles, régimen turbulento

Impulsor	K_T
Hélice, pitch= dos, tres aletas*	1,00
Turbina, seis aletas planas	6,30
Turbina, seis aletas curvas	4,80
Turbina ventilado, seis aletas	1,65
Turbina e impulsor encerrado, seis aletas curvas	1,08
Turbina de impulsor encerrado con estator (sin baffles)	1,12

Fuente: (Romero, 2006, p. 62).

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

Tabla 42-3: Dimensiones recomendadas para una cámara cilíndrica

$\frac{D}{d} = 3$	$\frac{A_d}{D} = \frac{1}{10}$	$\frac{L_{pi}}{d} = \frac{1}{4}$	$\frac{A_{pi}}{d} = \frac{1}{5}$	$2,7 \leq H/d \leq 3,9$	$0,75 \leq h/d \leq 1,3$
-------------------	--------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	-------------------------	--------------------------

Fuente: (Romero, 2006, p. 64).

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

✓ **Diámetro del impulsor**

$$d_i = \frac{1}{3} D_{sc}$$

Ecuación 28-3

$$d_i = \frac{1}{3} * 1,49 \text{ m}$$

$$d_i = 0,50 \text{ m}$$

Dónde:

d_i : Diámetro del impulsor, (m).

D_{SC} : Diámetro del sedimentador parte cilíndrica, (m).

✓ Altura del impulsor respecto del fondo

$$H_i = d_i$$

$$H_i = 0,50 \text{ m}$$

Ecuación 29-3

Dónde:

H_i : Altura del impulsor, (m).

d_i : Diámetro del impulsor, (m).

✓ Ancho de la paleta del impulsor

$$A_{pi} = \frac{1}{5} d_i$$

$$A_{pi} = \frac{1}{5} * 0,50 \text{ m}$$

$$A_{pi} = 0,1 \text{ m} = 10 \text{ cm}$$

Ecuación 30-3

Dónde:

A_{pi} : Altura de la paleta del impulsor, (m).

d_i : Diámetro del impulsor, (m).

✓ Longitud de la paleta del impulsor

$$L_{pi} = \frac{1}{4} d_i$$

$$L_{pi} = \frac{1}{4} * 0,50 \text{ m}$$

$$L_{pi} = 0,125 \text{ m} = 12,5 \text{ cm}$$

Ecuación 31-3

Dónde:

L_{pi} : Longitud de la paleta del impulsor, (m).

d_i : Diámetro del impulsor, (m).

✓ Longitud de la paleta del impulsor montadas en el disco central

$$L_{pm} = \frac{1}{8} * d_i$$

Ecuación 32-3

$$L_{pm} = \frac{1}{8} * 0,50 \text{ m}$$

$$L_{pm} = 0,0625 \text{ m} = 6,25 \text{ cm}$$

Dónde:

L_{pm} : Longitud de la paleta del impulsor montadas en el disco central, (m)

d_i : Diámetro del impulsor, (m).

✓ Altura del líquido

$$H_L = D_{SC}$$

Ecuación 33-3

$$H_L = 1,49 \text{ m}$$

Dónde:

H_L : Altura del líquido, (m).

D_{SC} : Diámetro del sedimentador parte cilíndrica, (m).

✓ Diámetro de turbina

Corresponde al diámetro que tiene el disco de la turbina, depende de la geometría (en este caso es de forma circular).

$$D_T = \frac{D_{SC}}{a}$$

Ecuación 34-3

$$D_T = \frac{1,49 \text{ m}}{2}$$

$$D_T = 0,745 \text{ m}$$

Dónde:

D_T : Diámetro de turbina, (m).

D_{SC} : Diámetro del sedimentador parte cilíndrica, (m).

a : Relación de geometría, (adimensional, 2).

✓ Consumo de potencia

$$P = N_p * n^3 * d_i^5 * \rho$$

Ecuación 35-3

$N_p = N_T$, cuando se tiene N_{Re} mayor o aproximado a 10000 (en tanques con placas deflectores).

Dónde:

N_p : Número de potencia

N_T : Régimen turbulento.

Número de Reynolds

$$N_{Re} = \frac{n * d_i^2 * \rho}{\mu}$$

Ecuación 36-3

$$N_{Re} = \frac{(1,66 \frac{rev}{s}) * (0,50 m)^2 * (998,2 \frac{kg}{m^3})}{1,102 * 10^{-3} \frac{kg}{m * s}}$$
$$N_{Re} = 3,75 * 10^5$$

Dónde:

n : Velocidad de rotación, (rev/s). (100 rpm/60 s)

d_i : Diámetro del impulsor, (m).

ρ : Densidad del agua a 20 °C, (998,2 kg/m³).

μ : Viscosidad dinámica a 20 °C, (1,102 * 10⁻³ kg/m.s).

Por tanto, el número de Reynolds es mayor a 10000, se tiene:

$$N_p = N_T = 6,30$$

Entonces, el consumo de potencia es:

$$P = N_T * n^3 * d_i^5 * \rho$$
$$P = 6,30 * \left(1,66 \frac{rev}{s}\right)^3 * (0,50 m)^5 * (998,2 \frac{kg}{m^3})$$
$$P = 898,944 W = 1,20 Hp$$

Considerando una eficiencia del motor de 70%, queda:

$$P_m = \frac{P}{70\%}$$
$$P_m = 898,944 \frac{W}{0,70} = 1,72 Hp \approx 2 Hp$$

Placas deflectoras

Según (McCabe et al., 1991: p. 256), recomiendan que cuando se opere en tanques de gran tamaño, con agitadores verticales, el modo más conveniente de evitar y disminuir la formación de

remolinos y vórtices es mediante la instalación de placas deflectoras, las cuales impiden la generación de flujo rotacional de manera que no afecte al flujo radial y longitudinal. Las placas usadas con más frecuencia son las de tipo vertical, las cuales deben ser instaladas de forma perpendicular a la pared del tanque.

En este caso el tanque contendrá 2 placas deflectoras, de tipo vertical.

- ✓ Ancho de las placas deflectoras

$$A_d = \frac{1}{10} * D_{sc}$$

Ecuación 37-3

$$A_d = \frac{1}{10} * 1,49 \text{ m}$$

$$A_d = 0,149 \text{ m} = 14,9 \text{ cm}$$

Dónde:

A_d : Ancho de las placas deflectoras, (m).

D_{sc} : Diámetro del sedimentador parte cilíndrica, (m).

- ✓ Diámetro del disco central

$$\phi_d = \frac{D_{sc}}{4}$$

Ecuación 38-3

$$\phi_d = \frac{1,49 \text{ m}}{4}$$

$$\phi_d = 0,373 \text{ m} = 37,3 \text{ cm}$$

Dónde:

ϕ_d : Diámetro del disco central, (m).

D_{sc} : Diámetro del sedimentador parte cilíndrica, (m).

- **Dosificación de policloruro de aluminio (PAC) al 2% Y floculante catiónico**

Dosis de policloruro de aluminio (PAC) al 2%

A nivel de laboratorio al añadir PAC al 2% en 1000 mL de agua se obtuvo que la dosis óptima es de 3,5 mL (70 ppm).

Para la dosificación de PAC se realizó en base al volumen de agua de pelambre empleado en el diseño del tanque floculador.

$$D_{PAC} = V_S * C_2$$

Ecuación 39-3

$$D_{PAC} = 3900 \text{ L} * 70 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ kg}}{1 \times 10^6 \text{ mg}}$$

$$D_{PAC} = 0,273 \frac{\text{kg PAC}}{\text{carga}}$$

Dónde:

D_{PAC} : Dosis óptima de PAC, (kg/carga).

V_S : Volumen del sedimentador, (L).

C_2 : Concentración de PAC en la dosis óptima, (70 ppm).

De la misma manera para procesar 600 pieles al mes se necesita 4 cargas o lotes de producción, por lo tanto la cantidad de PAC necesario mensualmente es:

$$D_{PAC} = 4 * 0,273 \text{ kg PAC}$$

$$D_{PAC} = 1,092 \text{ kg PAC/mes}$$

Dosis de floculante catiónico

A nivel de laboratorio al añadir floculante catiónico al 2% en 1000 mL de agua se obtuvo que la dosis óptima es de 0,5 mL (10 ppm).

$$D_{FC} = V_S * C_2$$

$$D_{FC} = 3900 \text{ L} * 10 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ kg}}{1 \times 10^6 \text{ mg}}$$

$$D_{FC} = 0,039 \frac{\text{kg FC}}{\text{carga}} = 39 \text{ g FC/carga}$$

Dónde:

D_{FC} : Dosis óptima de floculante catiónico, (kg/carga).

V_S : Volumen del sedimentador, (L).

C_2 : Concentración de PAC en la dosis óptima, (10 ppm).

De la misma manera para procesar 600 pieles al mes se necesita de 4 cargas o lotes de producción, por lo tanto, la cantidad de PAC necesario mensualmente es:

$$D_{FC} = 4 * 0,039 \text{ kg FC}$$
$$D_{FC} = 0,156 \text{ kg} \frac{\text{FC}}{\text{mes}} = 156 \text{ g FC/mes}$$

3.6.1.6 Dimensionamiento de lechos de secado para lodos

El lodo generado en las PTAR son producto de las diferentes operaciones empleadas, dando lugar a la formación de un residuo en estado líquido o semisólido, el cual previo a su disposición final deben ser estabilizados y desinfectados.

La estabilización permite disminuir la presencia de patógenos, eliminar olores desagradables, disminuir el potencial de putrefacción, para lo cual se puede recurrir a técnicas dentro de ellos se tiene: digestión anaerobia, digestión aerobia, estabilización con cal, tratamiento térmico y compostaje.

Los lechos de secado cumplen la función de deshidratar los lodos con el propósito de disminuir el volumen y la concentración de los contaminantes presentes, ideal para plantas pequeñas. De hecho, el lodo proveniente del sistema tratamiento que se está efectuando son lodos que contienen polímeros, los cuales tienden a secarse de manera fácil y la generación del volumen es menor con respecto a los lodos cuando utilizan coagulantes convencionales en el proceso. (Romero, 2006, p. 313)



Figura 14-3: Lechos de secado para la deshidratación de lodos
Fuente: Planta de tratamiento de aguas residuales del GAD Municipal de Colta, 2018

- ✓ Carga de sólidos suspendidos en el efluente

$$C_{SS} = Q_d * SS$$

Ecuación 40-3

$$C_{SS} = 6,89 \frac{m^3}{día} * 1,1537 \frac{kg}{m^3}$$

$$C_{SS} = 7,949 \text{ kg}_{SS}/día$$

Dónde:

C_{SS} : Carga de sólidos suspendidos, (kg/día).

Q_d : Caudal de diseño, ($m^3/día$).

SS : Sólidos suspendidos, (kg/m^3). Dato obtenido de la caracterización inicial.

- ✓ Masa de sólidos que conforman los lodos

$$MS_L = (0,5 * 0,7 * 0,5 * C_{SS}) + (0,5 * 0,3 * C_{SS})$$

Ecuación 41-3

$$MS_L = (0,5 * 0,7 * 0,5 * 7,949 \text{ kg}/día) + (0,5 * 0,3 * 7,949 \text{ kg}/día)$$

$$MS_L = 2,583 \text{ kg}/día$$

Dónde:

MS_L : Masa de sólidos que conforman los lodos, (kg/día).

C_{SS} : Carga de sólidos suspendidos, (kg/día).

- ✓ Volumen diario de lodos digeridos

$$V_{dL} = \frac{MS_L}{\rho_{lodo} * (\frac{\% \text{ sólidos}}{100\%})}$$

Ecuación 42-3

$$V_{dL} = \frac{2,583 \text{ kg}/día}{1,04 \frac{kg}{L} * (\frac{12\%}{100\%})}$$

$$V_{dL} = 20,7 \text{ L}/día$$

Dónde:

V_{dL} : Volumen diario de lodos digeridos, (L/día).

MS_L : Masa de sólidos que conforman los lodos, (kg/día).

ρ_{lodo} : Densidad del lodo, ($1,04 \text{ kg}/L \rightarrow$ Dato obtenido de OPS/CEPIS/05.163, p.19)

% sólidos: Porcentaje de sólidos, (8-12% \rightarrow Dato recomendado por OPS/CEPIS/05.163, p.19)

- ✓ Volumen de lodos a extraer del tanque

Tabla 43-3: Tiempo requerido para digestión del lodo

Temperatura (°C)	Tiempo de digestión (días)
10	76
15	55
20	40

Fuente: (OPS/CEPI/05.163, p. 18)

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

$$V_{LE} = V_{dL} * t_{DL}$$

Ecuación 43-3

$$V_{LE} = (20,7 \text{ L/día})(40 \text{ días})$$

$$V_{LE} = 828 \text{ L} = 0,828 \text{ m}^3$$

Dónde:

V_{LE} : Volumen de lodos a extraer del tanque, (m^3).

V_{dL} : Volumen diario de lodos digeridos, (L/día).

t_{DL} : Tiempo requerido para digestión del lodo, (días).

- ✓ Área del lecho de secado

Tabla 44-3: Criterios de diseño para lecho de secado

Parámetro	Intervalo	Unidad
Profundidad	0,20-0,40	m
Longitud	3-6	m

Fuente: (OPS/CEPI/05.163, p. 19)

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

$$A_{LS} = \frac{V_{LE}}{H_{LS}}$$

Ecuación 44-3

$$A_{LS} = \frac{0,828 \text{ m}^3}{0,40 \text{ m}}$$

$$A_{LS} = 2,07 \text{ m}^2$$

Dónde:

A_{LS} : Área del lecho de secado, (m^2).

V_{LE} : Volumen de lodos a extraer del tanque, (m^3).

H_{LS} : Altura del lecho de secado, (m).

- ✓ Ancho del lecho de secado

$$b_{LS} = \frac{A_{LS}}{L_{LS}}$$

Ecuación 45-3

$$b_{LS} = \frac{2,07 \text{ m}^2}{3 \text{ m}}$$

$$b_{LS} = 0,69 \text{ m}$$

Dónde:

b_{LS} : Ancho del lecho de secado, (m).

A_{LS} : Área del lecho de secado, (m^2).

L_{LS} : Longitud del lecho de secado, (m).

✓ Volumen del lecho de secado

$$V_{LS} = L_{LS} * b_{LS} * H_{LS}$$

Ecuación 46-3

$$V_{LS} = (3,0 \text{ m}) * (0,69 \text{ m}) * (0,40 \text{ m})$$

$$V_{LS} = 0,828 \text{ m}^3 = 828 \text{ L}$$

Dónde:

V_{LS} : Volumen del lecho de secado, (m).

L_{LS} : Longitud del lecho de secado, (m).

H_{LS} : Altura del lecho de secado, (m).

Número de lechos: 2,0.

✓ Volumen individual del lecho de secado

$$V_{ILS} = L_{ILS} * b_{LS} * H_{LS}$$

$$V_{ILS} = (1,5 \text{ m}) * (0,69 \text{ m}) * (0,40 \text{ m})$$

$$V_{ILS} = 0,414 \text{ m}^3$$

Dónde:

L_{ILS} : Longitud individual del lecho de secado, (m).

b_{LS} : Ancho del lecho de secado, (m).

H_{LS} : Altura del lecho de secado, (m).

3.6.2 Sistema de tratamiento para el afluente del proceso de curtido

Para el dimensionamiento de los equipos del sistema de tratamiento para el afluente del proceso de curtido se aplica el mismo criterio.

$$Q_{ac} = 1,6 \text{ L/min} = 2,30 \text{ m}^3/\text{día}$$

3.6.2.1 Cálculo de caudal

- ✓ Caudal de diseño

$$Q_d = Q_c + Q_c * fs$$

Ecuación 47-3

$$Q_d = 2,30 \text{ m}^3/\text{día} + 2,30 \text{ m}^3/\text{día} * 0,30$$

$$Q_d = 2,99 \text{ m}^3/\text{día}$$

Dónde:

Q_d : Caudal de diseño, (m^3/s).

Q_c : Caudal calculado o real, (m^3/s).

fs : Factor de seguridad, (30%).

3.6.2.2 Canal de entrada a la planta de tratamiento de aguas residuales

- ✓ Área del canal

$$A_c = b * h$$

Ecuación 48-3

$$A_c = (0,30 \text{ m})(0,30 \text{ m})$$

$$A_c = 0,09 \text{ m}^2$$

Dónde:

A_c : Área del canal, (m^2).

b : Ancho del canal, (m).

h : Altura de la cana hasta el nivel del agua, (m).

- ✓ Radio hidráulico del canal

$$R_h = \frac{b * h}{b + 2h}$$

Ecuación 49-3

$$R_h = \frac{(0,30 \text{ m})(0,30 \text{ m})}{0,30 \text{ m} + 2(0,30 \text{ m})}$$

$$R_h = 0,10 \text{ m}$$

Dónde:

R_h : Radio hidráulico, (m).

b : Ancho del canal, (m).

h : Altura del canal hasta el nivel del agua, (m).

✓ Velocidad media de la corriente por el canal

$$v_m = \frac{1}{n} * R_h^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Ecuación 50-3

$$v_{mc} = \frac{1}{0,013} * (0,10)^{2/3} * (0,0002)^{1/2}$$

$$v_m = 0,234 \text{ m/s}$$

Dónde:

v_m : Velocidad media de la corriente que circula por el canal, (m/s).

n : Coeficiente de rugosidad.

R_h : Radio hidráulico de curtid, (m).

S : Gradiente hidráulico de curtid, (m/m).

✓ Altura máxima del agua

$$h_{m\acute{a}x} = \sqrt{\frac{A_c}{2}}$$

Ecuación 51-3

$$h_{m\acute{a}x} = \sqrt{\frac{0,09 \text{ m}^2}{2}}$$

$$h_{m\acute{a}x} = 0,212 \text{ m}$$

Dónde:

$h_{m\acute{a}x}$: Altura máxima de agua, (m)

A_c : Área del canal, (m^2).

✓ Altura total del canal

A fin de evitar el rebose de agua se considera un factor de seguridad del 20%

$$H_c = h + h_s$$

Ecuación 52-3

$$H_c = (0,30 + 0,20)m$$

$$H_c = 0,50 m$$

Dónde:

H_c : Altura total del canal, (m).

h : Altura del canal hasta el nivel del agua, (m).

h_s : Altura de seguridad, (m).

3.6.2.3 Dimensionamiento de rejillas de limpieza manual

✓ Longitud de las barras

$$L_b = \frac{h_{m\acute{a}x}}{\text{sen}\theta}$$

Ecuación 53-3

$$L_b = \frac{0,212 m}{\text{sen } 45}$$

$$L_b = 0,30 m$$

Dónde:

L_b : Longitud de las barras, (m).

$h_{m\acute{a}x}$: Altura máxima de agua, (m).

θ : Ángulo de inclinación, (45 grados).

✓ Número de barras para rejillas finas

$$N_b = \frac{b}{e + s}$$

Ecuación 54-3

$$N_b = \frac{0,30 m}{(0,012 + 0,015)m}$$

$$N_b = 11,1 \approx 11$$

Dónde:

N_b : Número de barras

b : Ancho del canal, (m).

s : Separación entre barras, (m)

e : Espesor máximo de las barras, (m).

✓ Nivel máximo de agua

$$n_{m\acute{a}x} = \frac{Q_d}{v_m * b}$$

Ecuación 55-3

$$n_{m\acute{a}x} = \frac{3,46 * 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}{0,234 \text{ m/s} * 0,30 \text{ m}}$$

$$n_{m\acute{a}x} = 0,0005 \text{ m}$$

Dónde:

$n_{m\acute{a}x}$: Nivel máximo de agua, (m).

Q_d : Caudal de diseño, (m^3/s).

v_m : Velocidad media de la corriente por el canal, (m/s).

b : Ancho del canal, (m).

✓ Longitud sumergida de las barras

$$L_s = \frac{n_{m\acute{a}x}}{\text{sen}\theta}$$

Ecuación 56-3

$$L_s = \frac{0,0005 \text{ m}}{\text{sen } 45}$$

$$L_s = 7,07 * 10^{-4} \text{ m}$$

Dónde:

L_s : Longitud sumergida de las barras, (m).

$n_{m\acute{a}x}$: Nivel máximo de agua, (m).

θ : Ángulo de inclinación, (45 grados).

✓ Pérdida de carga a través de las rejillas

$$h_c = \beta \left(\frac{b}{s}\right)^{4/3} * \frac{v_m^2}{2g} * \text{sen}\theta$$

Ecuación 57-3

$$h_c = 1,79 * \left(\frac{0,30}{0,015}\right)^{4/3} * \frac{(0,234)^2}{2(9,8)} * (\text{Sen } 45)$$

$$h_c = 0,19 \text{ m}$$

Dónde:

h_c : Pérdida de carga a través de las rejillas, (m).

β : Coeficiente de pérdida, (depende de la forma).

b : Ancho del canal, (m).

s : Separación entre barras, (m).

v_m : Velocidad media de la corriente por el canal, (m/s).

g : Gravedad, (9,8 m/s²).

3.6.2.4 Dimensionamiento de tanque homogenizador

El tanque de homogenización permite la regulación de las variaciones de caudal y la calidad del agua al momento que ingresa a la planta, logrando así no solo un caudal constante sino también una homogenización de la composición del agua a tratar. Ayuda a mejorar el rendimiento de los procesos posteriores. (Ferrer y Seco, 2005: p.9)

Consideraciones:

- El volumen de agua de curtido a tratar es de 2,99 m³/día.
 - La altura del tanque homogenizador es de 1,8 m.
 - La relación entre largo y ancho es (L/b=1,5).
- ✓ Longitud del tanque homogenizador

$$L_{TH} = \sqrt{\frac{r * V_{dac}}{h}}$$

Ecuación 58-3

$$L_{TH} = \sqrt{\frac{(1,5) * (2,99 \text{ m}^3)}{1,8 \text{ m}}}$$

$$L_{TH} = 1,58 \text{ m}$$

Dónde:

L_{TH} : Longitud del tanque homogenizador, (m).

V_{dac} : Volumen de diseño para agua de curtido, (m³).

r : Relación entre largo y ancho, (L/b=1,5).

h : Altura del tanque, (m).

- ✓ Ancho del tanque homogenizador

$$b_{TH} = \frac{L_{TH}}{r}$$

Ecuación 59-3

$$b_{TH} = \frac{1,58 \text{ m}}{1,5}$$

$$b_{TH} = 1,1 \text{ m}$$

Dónde:

b_{TH} : Ancho del tanque homogenizador, (m).

L_{TH} : Longitud del tanque homogenizador, (m).

r : Relación entre largo y ancho, ($L/b=1,5$).

✓ Altura total del tanque homogenizador

$$H_{TH} = h (1 + fs)$$

Ecuación 60-3

$$H_{TH} = (1,8 \text{ m})(1 + 0,2)$$

$$H_{TH} = 2,16 \text{ m}$$

Dónde:

H_{TH} : Altura del tanque homogenizador, (m).

h : Altura del tanque, (m).

fs : Factor de seguridad, (20%).

✓ Volumen real del tanque homogenizador

$$V_{TH} = H_{TH} * L_{TH} * b_{TH}$$

Ecuación 61-3

$$V_{TH} = (2,16 \text{ m})(1,58 \text{ m})(1,1 \text{ m})$$

$$V_{TH} = 3,754 \text{ m}^3$$

Dónde:

H_{TH} : Altura del tanque homogenizador, (m).

L_{TH} : Longitud del tanque homogenizador, (m).

b_{TH} : Ancho del tanque homogenizador, (m).

3.6.2.5 Dimensionamiento de tanque de almacenamiento para agua tratada

Con el fin de recolectar el agua tratada procedente de los filtros para agua de pelambre y curtido se diseñará un tanque de almacenamiento, dicho recurso será recirculado para ser utilizado en los diferentes procesos.

Consideraciones

- El volumen para el cual se dimensionará es de $6,89 \text{ m}^3/\text{día}$.
- Altura del tanque de 2 m.
- La relación entre largo y ancho ($L/b=1,5$).

- ✓ Longitud del tanque de almacenamiento

$$L_{TA} = \sqrt{\frac{r * V_{da}}{h}}$$

Ecuación 62-3

$$L_{TA} = \sqrt{\frac{(1,5) * (6,89 \text{ m}^3)}{2,0 \text{ m}}}$$

$$L_{TA} = 2,27 \text{ m}$$

Dónde:

L_{TA} : Longitud del tanque de almacenamiento, (m).

V_{da} : Volumen de diseño para agua tratada, (m^3).

r : Relación entre largo y ancho, ($L/b=1,5$).

h : Altura del tanque, (2 m).

- ✓ Ancho del tanque de almacenamiento

$$b_{TA} = \frac{L_{TA}}{r}$$

Ecuación 63-3

$$b_{TA} = \frac{2,27 \text{ m}}{1,5}$$

$$b_{TA} = 1,51 \text{ m}$$

Dónde:

b_{TA} : Ancho del tanque de almacenamiento, (m).

L_{TA} : Longitud del tanque de almacenamiento, (m).

r : Relación entre largo y ancho, ($L/b=1,5$).

- ✓ Altura total del tanque de almacenamiento

$$H_{TA} = h (1 + fs)$$

Ecuación 64-3

$$H_{TA} = (2,0 \text{ m})(1 + 0,2)$$

$$H_{TA} = 2,4 \text{ m}$$

Dónde:

H_{TA} : Altura del tanque de almacenamiento, (m).

h : Altura del tanque, (m).

fs : Factor de seguridad, (20%).

✓ Volumen real del tanque de almacenamiento

$$V_{TA} = H_{TA} * L_{TA} * b_{TA}$$

Ecuación 65-3

$$V_{TA} = (2,4 \text{ m})(2,27 \text{ m})(1,51 \text{ m})$$

$$V_{TA} = 8,226 \text{ m}^3 = 8226 \text{ L}$$

Dónde:

H_{TA} : Altura del tanque de almacenamiento, (m).

L_{TA} : Longitud del tanque de almacenamiento, (m).

b_{TA} : Ancho del tanque de almacenamiento, (m).

3.6.2.6 Dosificación de policloruro de aluminio (PAC) al 2% y floculante aniónico

– Dosis de policloruro de aluminio (PAC) al 2%

Para llevar a cabo el proceso de coagulación y floculación de agua de curtido se va emplear el sedimentador diseñado para agua de pelambre.

A nivel de laboratorio al añadir PAC al 2% en 500 mL de agua se obtuvo que la dosis óptima es de 1 mL (40 ppm).

$$D_{PAC} = V_{ac} * C_2$$

Ecuación 66-3

$$D_{PAC} = 2990 \text{ L} * 40 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ kg}}{1 \times 10^6 \text{ mg}}$$

$$D_{PAC} = 0,1196 \frac{\text{kg}}{\text{carga}} = 119,6 \text{ g/carga}$$

Dónde:

D_{PAC} : Dosis óptima de PAC, (kg/carga).

C_2 : Concentración de PAC en la dosis óptima, (40 ppm).

V_{ac} : Volumen de agua de curtido, (L).

El volumen de solución de PAC al 2% por carga que debe ser añadida es de 5,98 L, siendo necesario de 119,6 g de PAC para la preparación. Por lo tanto para procesar 600 pieles se requiere de 4 lotes de producción, siendo necesario la cantidad de PAC al mes de:

$$D_{PAC} = 4 * 0,1196 \text{ kg}$$
$$D_{PAC} = 0,4784 \frac{\text{kg}}{\text{mes}} = 478,4 \text{ g/mes}$$

Para añadir a un volumen de 2990 L se requiere de 23,92 L de solución de PAC al 2% mensualmente, para lo cual se necesita de 478,4 g de PAC al mes.

– Dosis de floculante aniónico

A nivel de laboratorio al añadir floculante aniónico al 2% en 1000 mL de agua se obtuvo que la dosis óptima es de 2 ppm.

$$D_{FA} = V_{ac} * C_2$$

Ecuación 67-3

$$D_{FA} = 2990 \text{ L} * 2 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ kg}}{1 \times 10^6 \text{ mg}}$$
$$D_{FA} = 0,00598 \frac{\text{kg}}{\text{carga}} = 5,98 \text{ g/carga}$$

Dónde:

D_{FA} : Dosis óptima de floculante aniónico, (kg/carga).

V_{ac} : Volumen de agua de curtido, (L).

C_2 : Concentración de floculante aniónico en la dosis óptima, (2 ppm).

Para procesar 600 pieles al mes se necesita de 4 lotes de producción, para lo cual se requiere la dosis siguiente de floculante aniónico:

$$D_{FA} = 4 * 0,00598 \text{ kg}$$

$$D_{FA} = 0,02392 \frac{\text{kg}}{\text{mes}} = 23,92 \text{ g/mes}$$

La dosificación de PAC y floculante aniónico depende del caudal a tratar y la concentración se mantiene la misma.

3.7 Resultados del dimensionamiento del sistema de tratamiento para la Curtiduría “San Isidro”

3.7.1 Resultados de diseño del sistema de tratamiento para el proceso de pelambre

Tabla 45-3: Resultados de cálculo del caudal

Parámetros	Simbología	Valor	Unidad
Caudal calculado o real	Q_c	3,0	$\text{m}^3/\text{día}$
Caudal de diseño	Q_d	3,9	$\text{m}^3/\text{día}$

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

Tabla 46-3: Dimensiones del canal de entrada a la PTAR

Parámetros	Simbología	Valor	Unidad
Anchura del fondo	b	0,50	m
Altura del agua	h	0,40	m
Área del canal	A_c	0,20	m^2
Radio hidráulico	R_h	0,153	m
Pendiente	S	0,02	%
Velocidad media de la corriente por el canal	v_m	0,311	m/s
Altura máxima del agua	$h_{\text{máx}}$	0,32	m
Altura total del canal	H_c	0,60	m

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

Tabla 47-3: Dimensiones de las rejillas de limpieza manual

Parámetros	Simbología	Valor	Unidad
Longitud de las barras	L_b	0,45	m
Angulo de inclinación	θ	45	grados
Separación entre barras	s	0,015	m
Espesor de la barra	e	0,012	m
Número de barras	N_b	19	m
Nivel máximo de agua	$n_{\text{máx}}$	0,0003	m
Longitud sumergida de las barras	L_s	0,0004	m
Pérdida de carga a través de las rejillas	h_c	0,67	m

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

Tabla 48-3: Dimensiones del tanque de aireación

Parámetros	Simbología	Valor	Unidad
Longitud del tanque de aireación	L_{ta}	1,80	m
Ancho del tanque de aireación	b_{ta}	1,20	m
Altura del tanque de aireación	H_{ta}	2,16	m
Volumen del tanque de aireación	V_{ta}	4,67	m^3
Sistema de aireación			
Caudal de aire	Q_{aire}	7,81	m^3/min
Presión hidrostática del agua	P_{ha}	3,07	Psi
Presión absoluta	P_a	17,92	psi
Potencia del compresor	P_c	5,0	Hp

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

Tabla 49-3: Dimensiones del sedimentador circular de tipo cónico

Parámetros	Simbología	Valor	Unidad
Volumen del sedimentador	V_S	3,9	m^3
Volumen del sedimentador parte cilíndrica	V_{SC}	3,48	m^3
Volumen del sedimentador parte cónica	V_{SCN}	0,421	m^3
Radio del sedimentador parte cilíndrica	r_{SC}	0,744	m
Diámetro del sedimentador parte cilíndrica	D_{SC}	1,49	m
Altura del sedimentador parte cilíndrica	h_{SC}	2,0	m
Altura del sedimentador parte cónica	h_{SCN}	0,72	m
Altura total del sedimentador	H_S	2,72	m
Sistema de agitación			
Diámetro del impulsor	d_i	0,50	m
Altura del impulsor respecto del fondo	H_i	0,50	m
Ancho de la paleta del impulsor	A_{pi}	0,1	m
Longitud de la paleta del impulsor	L_{pi}	0,125	m
Longitud de la paleta del impulsor montadas en el disco central	L_{pm}	0,0625	m
Altura del líquido	H_L	1,49	m
Diámetro de turbina	D_T	0,745	m
Número de Reynolds	N_{Re}	$3,75 * 10^5$	adm
Potencia requerida para el agua residual con eficiencia del 70%	P	2	Hp
Ancho de las placas deflectoras	A_d	0,149	m
Diámetro del disco central	\emptyset_d	0,373	m

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

Tabla 50-3: Dimensiones del lecho de secado

Parámetros	Simbología	Valor	Unidad
Carga de sólidos suspendidos en el efluente	C_{SS}	7,499	kg/día
Masa de sólidos que conforman los lodos	M_{SL}	2,583	kg/día
Volumen diario de lodos digeridos	V_{dL}	0,0207	m ³ /día
Volumen de lodos a extraer	V_{LE}	0,828	m ³
Área del lecho de secado	A_{LS}	2,07	m ²
Ancho del lecho de secado	b_{LS}	0,69	m
Volumen del lecho de secado	V_{LS}	0,828	m ³
Número de lechos	N°_L	2	-
Volumen individual del lecho de secado	V_{ILS}	0,414	m ³

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

3.7.2 Resultados del sistema de tratamiento para el proceso de curtido

Tabla 51-3: Resultados de cálculo del canal

Parámetros	Simbología	Valor	Unidad
Caudal calculado o real	Q_c	2,30	m ³ /día
Caudal de diseño	Q_d	2,99	m ³ /día

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

Tabla 52-3: Dimensiones del canal de entrada a la PTAR

Parámetros	Simbología	Valor	Unidad
Anchura del fondo	b_c	0,30	m
Altura del agua	h_c	0,30	m
Área del canal	A_c	0,09	m ²
Radio hidráulico	R_h	0,10	m
Pendiente	S	0,02	%
Velocidad media de la corriente por el canal	v_m	0,234	m/s
Altura máxima del agua	$h_{m\acute{a}x}$	0,212	m
Altura total del canal	H_c	0,50	m

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

Tabla 53-3: Dimensiones de las rejillas de limpieza manual

Parámetros	Simbología	Valor	Unidad
Longitud de las barras	L_b	0,30	m
Angulo de inclinación	θ	45	grados
Separación entre barras	s	0,015	m
Espesor de la barra	e	0,012	m

Número de barras	N_b	11	m
Nivel máximo de agua	$n_{m\acute{a}x}$	0,0005	m
Longitud sumergida de las barras	L_s	0,000707	m
Pérdida de carga a través de las rejillas	h_c	0,19	m

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

Tabla 54-3: Dimensiones del tanque de homogenización

Parámetros	Simbología	Valor	Unidad
Longitud del tanque homogenizador	L_{TH}	1,58	m
Ancho del tanque homogenizador	b_{TH}	1,1	m
Altura total del tanque homogenizador	H_{TH}	2,16	m
Volumen del tanque homogenizador	V_{TH}	3,754	m^3

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

Tabla 55-3: Dimensiones del tanque de almacenamiento para agua tratada

Parámetros	Simbología	Valor	Unidad
Longitud del tanque de almacenamiento	L_{TA}	2,27	m
Ancho del tanque de almacenamiento	b_{TA}	1,51	m
Altura total del tanque de almacenamiento	H_{TA}	2,4	m
Volumen del tanque de almacenamiento	V_{TA}	8,226	m^3

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

3.8 Proceso de producción

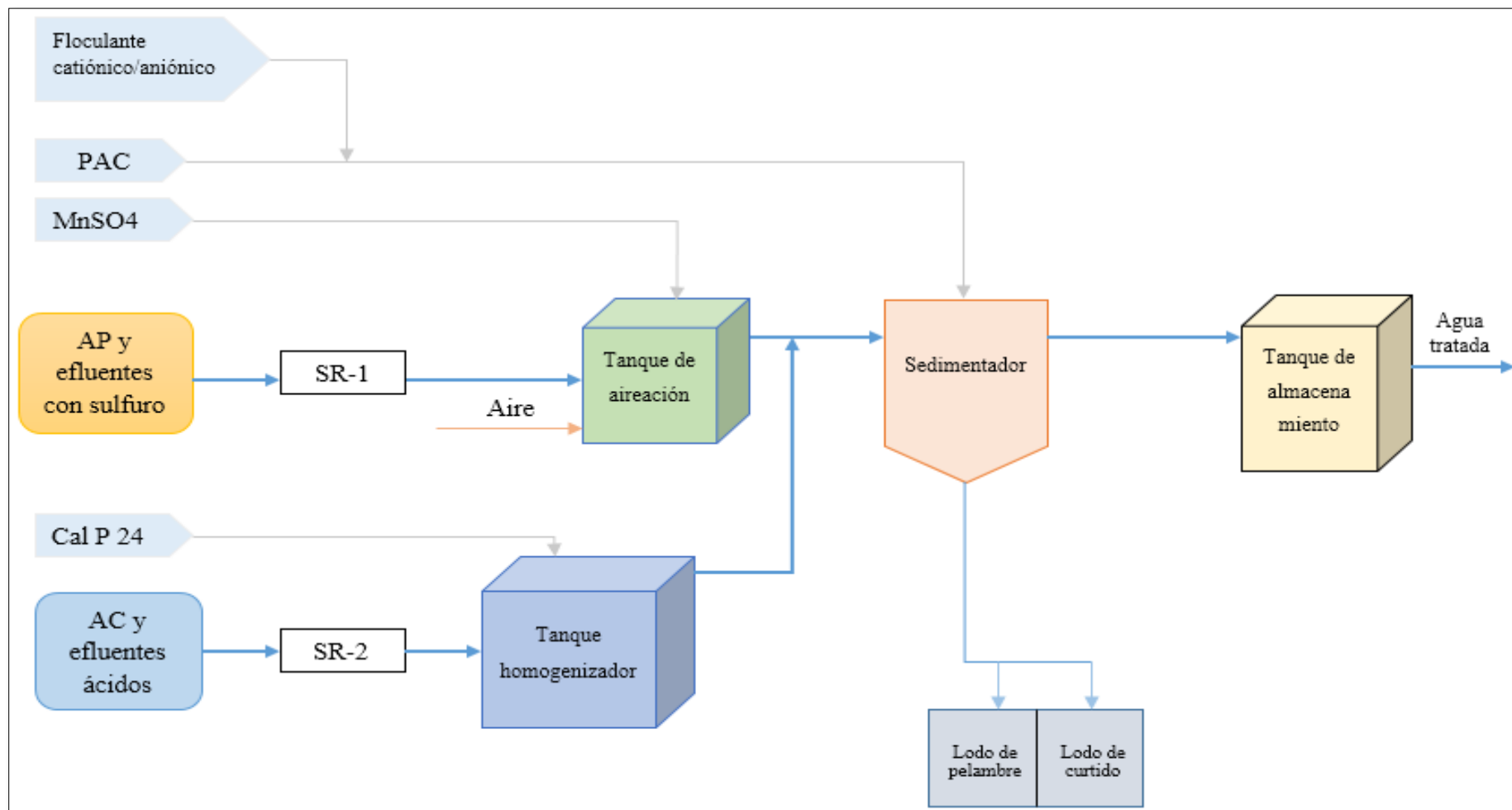


Gráfico 8-3: Propuesta del sistema de tratamiento para el afluente de los procesos de pelambre y curtido, Curtiduría “San Isidro”.
Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

3.9 Análisis costo-beneficio del proyecto

Tabla 56-3: Presupuesto de implementación de equipos

PREPARACIÓN DEL TERRENO					
Descripción		Unidad	Cantidad	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
Limpieza y desbroce		m ²	100	1,00	100
Nivelación del suelo y recolección de material		m ²	100	5,10	510
Subtotal					610
DESCARGA EN LA SALIDA DE LOS BOMBOS					
Picado de piso de concreto		m ³	0,40	1,10	0,44
Hormigón simple fc=210 kg/cm ²		m ³	0,40	131,30	52,52
Subtotal					52,96
CANAL DE CAPTACIÓN					
Para agua de pelambre	Limpieza y desbroce	m ²	2	1,00	2,0
	Excavación manual del suelo	m ³	0,50	5,62	2,81
	Replanto H.S. 140 kg/cm ²	m ³	0,50	95,34	47,67
	Hormigón simple f'c=210 kg/cm ²	m ³	1	131,30	131,30
Para agua de curtido	Limpieza y desbroce	m ²	2,0	1,00	2,0
	Excavación manual del suelo	m ³	0,40	5,62	2,25
	Replanto H.S. 140 kg/cm ²	m ³	0,40	95,34	38,14
	Hormigón simple f'c=210 kg/cm ²	m ³	1,0	131,30	131,30
Subtotal					357,47
REJILLAS					
Para agua de pelambre	Barras de hierro liso. Pintura antic.-esmalte	u	19	2,50	47,50
	Marco de acero	m ²	1,8	2,80	5,04
Para agua de curtido	Barras de hierro	u	11	2,50	27,50
	Marco de acero	m ²	1,5	2,80	4,20
Subtotal					84,24
TANQUE DE AIREACIÓN					
Excavación manual		m ³	1,5	5,62	8,43
Malla metálica electrosoldada 6 mm 15x15 cm		m ²	4,67	5,60	26,15
Hormigón simple f'c=210 kg/cm ²		m ³	2,0	131,30	262,60
Compresor		u	1	485,40	485,40
Subtotal					782,58
SEDIMENTADOR					
Excavación manual en suelo		m ²	1,5	5,62	8,43
Estructura circular con base cónica de acero inoxidable.		m ³	3,9	421,32	1643,15

Estructura de soporte de acero	<i>u</i>	1	251,20	251,20
Hormigón simple $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	m^3	1,5	131,30	196,95
Turbina de 6 aspas	<i>u</i>	1	130,12	130,12
Motor de agitación	<i>u</i>	1	1250	1250
Subtotal				3479,85
TANQUE HOMOGENIZADOR				
Excavación manual en suelo	m^3	3,754	5,62	21,10
Hormigón simple $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	m^3	1,5	131,30	196,95
Replanto H.S. 140 kg/cm ²	m^3	1,0	95,34	95,34
Malla electro soldada 6 mm 10x10 cm	m^2	3,754	5,60	21,02
Subtotal				334,41
TANQUE DE ALMACENAMIENTO				
Excavación manual en suelo	m^3	2,0	5,62	11,24
Hormigón simple $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	m^3	3,0	131,30	393,9
Replanto H.S. 140 kg/cm ²	m^3	1,5	95,34	143,01
Malla metálica electrosoldada 6 mm 15x15 cm	m^2	8,226	5,60	46,07
Subtotal				594,22
LECHO DE SECADO				
Excavación manual en suelo	m^3	0,60	5,62	3,37
Hormigón simple $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	m^3	1,0	131,30	131,30
Malla electrosoldada 6 mm 15x15 cm	m^2	2,0	5,60	11,20
Suministro y colocación de ladrillo	m^2	1,0	4,60	4,60
Suministro y colocación de grava	m^2	0,50	10,25	5,13
Suministro y colocación de arena	m^2	0,50	11,50	5,75
Subtotal				161,35
ACCESORIOS Y TUBERÍAS				
Tubería PVC d=3"	<i>m</i>	24	6,50 /3 m	52
Tubería PVC d=3,22"	<i>m</i>	5	5,86	29,30
Codo PVC d=3"	<i>u</i>	6	1,95	11,70
Válvula de compuerta d=3"	<i>u</i>	3	70,85	212,55
Válvula de compuerta d=3,22"	<i>u</i>	3	80,69	242,07
Subtotal				547,62
TOTAL				\$ 7004,70

Fuente: Arq. Buenaño Edison

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

Tabla 57-3: Presupuesto de productos químicos

Descripción	Dosis por carga	Dosis al mes	Dosis al año	Costo unitario por kg (\$)	Costo mensual (\$)	Costo anual (\$)
Sulfato de manganeso	1,17 kg	4,68 kg	56,16 kg	1,45	6,79	81,48
Policloruro de aluminio	392,6 g	1,57 Kg	8,87 kg	1,15	1,81	21,72
Floculante catiónico	39 g	156 g	1872 g	7,50	1,17	14,04
Cal P24	29,9 kg	119,6 kg	1435,2 kg	0,28	33,49	401,86
Floculante aniónico PHP-20 PLUS	5,98 g	23,92 g	287,04 g	6,50	0,16	1,86
Subtotal					43,42	520,96
					IVA (12%)	62,52
					TOTAL	583,48

Fuente: ECUAPETQUIM, 2019.

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

El costo total que debe ser destinado para la construcción e implementación del sistema de tratamiento de aguas residuales para la Curtiduría “San Isidro” es de \$ 7004,70 tal como se indica en la tabla 56-3; este valor corresponde a la construcción de equipos, instalación de motores, accesorios y materiales necesarios para la correcta operación. Dicho valor se modificará conforme al coste de los materiales al momento de construir la planta y será manejado particularmente por el propietario de la microempresa.

3.10 . Cronograma de actividades

Tabla 58-3: Cronograma de actividades

ACTIVIDADES	TIEMPO																			
	1° mes				2° mes				3° mes				4° mes				5° mes			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Revisión bibliográfica																				
Elaboración del anteproyecto																				
Diagnóstico Inicial de la planta																				
Toma de muestra																				
Caracterización de la muestra																				
Pruebas de tratabilidad																				
Análisis de la calidad del agua																				
Ordenamiento y tabulación información																				
Cálculos y propuesta (Dimensionamiento de la planta de tratamiento de agua)																				
Validación del diseño (caracterización físico-química))																				
Redacción del trabajo final																				
Corrección y elaboración de borradores																				
Auditoría académica																				
Defensa del trabajo																				

Realizado por: Buenaño Pico, Jennifer, 2019.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El agua residual generado en los procesos de pelambre, curtido y demás etapas de la Curtiduría San Isidro son descargados al sistema de alcantarillado de la localidad sin previo tratamiento, lo cual se ha considerado que puede generar cambios bruscos al medio receptor al cual es vertido debido a que el afluente procedente de las etapas de pelambre y curtido presentan elevada concentración de contaminantes tales como: cromo, sulfuro y alta carga orgánica afectando tanto al agua, suelo y aire de la zona, razón por el cual el propietario de la microempresa a través de la asociación al cual es afiliado han buscado sistemas de tratamiento más idóneos para la depuración de aguas residuales.

Inicialmente se realizó el muestreo respectivo en la salida de los fulones basado en la norma NTE INEN 2226:2013, posteriormente se caracterizó el afluente en el que cuyos resultados indicaron los parámetros que se encontraban fuera del límite permisible establecido por el TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Tabla 8: Límites de descarga al sistema de alcantarillado siendo los siguientes para agua de pelambre: DQO 17555 mg/L, DBO₅ 12557 mg/L, sulfuros 890,7 mg/L, sulfatos 1260,3 mg/L, sólidos totales 4939,7 mg/L y sedimentables 43 mL/L y pH 12,27; para agua de curtido arrojó los siguientes valores: pH 3,97, DQO 6200 mg/L, DBO₅ 2353,3 mg/L, cromo hexavalente 0,67 mg/L, cromo total 704,47 mg/L, sólidos totales 2802 mg/L y suspendidos 1240 mg/L.

Con los resultados de DQO y DBO₅ obtenido en la caracterización inicial se determinó el índice de biodegradabilidad con el propósito de establecer el tipo de tratamiento que debe recibir, para agua de pelambre arrojando el valor de 0,72 encontrándose en el rango de biodegradabilidad el cual permitió elegir un tratamiento biológico (aireación) y fisico-químico (coagulación-floculación y sedimentación) mientras que para agua de curtido se obtuvo el valor de 0,38 encontrándose como poco biodegradable permitiendo seleccionar un tratamiento fisico-químico (precipitación, coagulación-floculación y sedimentación).

Las pruebas de tratabilidad se efectuaron en el Laboratorio de Calidad de Agua de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, el agua de pelambre fue sometido a diferentes ensayos como etapa inicial se efectuó la operación de aireación durante 6 h, con la finalidad de reducir el tiempo de reacción se adicionó sulfato de manganeso al 5% a una concentración de 300 ppm (6 mL) para 1000 mL de afluente en el que se redujo la concentración de sulfuros a 248 mg/L. Para seleccionar el coagulante mas idóneo y la dosis adecuada se realizó pruebas con sulfato de aluminio, PAC y cloruro férrico al 2% obteniendo buenos resultados al emplear PAC con concentración de 70 ppm (3,5 mL) para un volumen de muestra de 1000 mL en el que se obtuvo una disminución de sulfuros a 35 mg/L y turbiedad de 175 NTU, finalmente para elegir el floculante se aplicó el mismo

procedimiento en este caso utilizando floculante de tipo aniónico, catiónico y no iónico dando buenos resultados al emplear el de tipo catiónico con concentración de 10 ppm (0,5 mL) logrando disminuir la concentración de sulfuros a 23 mg/L y turbiedad de 128 NTU, para conseguir los resultados esperados el tiempo de sedimentación adecuado es de 2 horas.

La precipitación de cromo se efectuó al agregar 10 g de cal P24 para 1000 mL de afluente de curtido ajustando al pH requerido, posterior a ello para clarificar el agua se empleó cloruro férrico, sulfato de aluminio y policloruro de aluminio al 2%, mismos que fueron añadidos a diferentes concentraciones logrando obtener que el coagulante que dio mejores resultados fue el PAC a una concentración de 40 ppm (1 mL) para un volumen de 500 mL de afluente, el cual brinda el 99,3 % de remoción de turbiedad y 71,9 % de color caso que no sucede con los otros dos coagulantes. De igual forma se aplicó el mismo criterio para elegir el floculante, se empleó floculantes de tipo catiónico, aniónico y no iónico obteniendo buenos resultados con el de tipo aniónico a una concentración de 2 ppm para un volumen de 500 mL de agua residual debido a que existe mayor reducción de turbiedad; el tiempo de sedimentación adecuado es de 2 h pues en ese tiempo se logra obtener un buen porcentaje de remoción de turbiedad y color.

La eficiencia de los ensayos para agua de pelambre se verificó caracterizando el agua tratada, así logrando obtener los siguientes porcentajes de remoción: color 92,2%, turbiedad 98,2%, sólidos totales 91,9%, sólidos suspendidos totales 91,6%, sólidos disueltos totales 80,4% sulfuros 96,2%, sulfatos 82%, DQO 94,7%, DBO₅ 95,8%, sin embargo 4 parámetros tales como: sólidos totales, sulfuros, DQO Y DBO₅ se encontraban fuera de norma pero los valores son bajos, razón por el cual el agua tratada será recirculada a los diferentes procesos de producción.

Los resultados de la caracterización del agua de curtido indicaron que la mayoría de los parámetros se encontraban dentro de norma, cuyos resultados indican los siguientes porcentajes de remoción: color 97,6%, turbiedad 99,8%, sólidos suspendidos 98,6%, sólidos disueltos totales 99,2%, sólidos totales 99,2%, cromo hexavalente 99,0%, cromo total 93,4%, DQO 86,4%, DBO₅ 94,6%, sin embargo el color, DQO y DBO₅ estaban fuera del rango establecido pero sus valores son bajos por lo que se decide hacer recircular a los diferentes procesos de producción.

Como se puede apreciar tanto DQO y DBO₅ del agua tratada de pelambre y curtido presentan un alto porcentaje de remoción sin embargo no se encuentran dentro del límite establecido, razón por el cual se decidió hacer recircular el agua tratada para que pueda ser utilizado como alimentación para los fulones de pelambre y curtido, lavado y remojo de las pieles.

Considerando el caudal de diseño de $3,9 \text{ m}^3/\text{día}$ para agua de pelambre y tomando en cuenta el tratamiento más idóneo se diseñó el sistema de tratamiento de aguas residuales para la curtiduría San Isidro, el cual está conformado por un canal de sección rectangular que conducirá desde la descarga de los fulones hacia la planta de tratamiento con las siguientes dimensiones ancho=0,50 m, altura del agua=0,40 m y la altura total del canal=0,60m; un sistema de rejillas de limpieza manual en el que quedarán retenidos los sólidos gruesos constituido de 19 barras con ángulo de inclinación de 45° , longitud de barras=0,45 m y la separación entre barras=0,015 m; un tanque de aireación circular con capacidad de $3,9 \text{ m}^3$, diámetro=1,66 m, altura=1,8 m, con sistema de aireación suministrado por un compresor un caudal de aire= $6,52 \text{ m}^3/\text{min}$; un sedimentador circular de tipo cónico con capacidad de $3,9 \text{ m}^3$, diámetro=1,49 m, altura=2,72 m montado por un sistema de agitación tipo turbina de 6 palas planas y lecho de secado de longitud=3,0 m, ancho=0,69 m, volumen= $0,828 \text{ m}^3$, número de lechos=2.

De igual manera para el agua de curtido con caudal de diseño de $2,99 \text{ m}^3/\text{día}$ se dimensionó un canal de entrada rectangular que conducirá desde la descarga del fulón hacia la planta con las dimensiones siguientes ancho=0,30 m, altura total=0,50 m; un sistema de rejillas de limpieza manual conformado por 11 barras, con ángulo de inclinación de 45° , longitud de barras=0,30 m y la separación entre barras=0,015 m; un tanque homogenizador con capacidad de $3,754 \text{ m}^3$, longitud=1,58 m, altura=2,16 m, ancho=1,1 m. El agua de curtido del tanque homogenizador será enviada al sedimentador utilizado para el agua de pelambre puesto que se evitará incrementar costos de equipos y al realizar los ensayos de laboratorio se obtuvo la misma secuencia de operación y finalmente será recolectado en el tanque de almacenamiento y posteriormente el agua tratada se hará recircular a los procesos que se llevan a cabo en la planta.

CONCLUSIONES

- ✓ Se realizó la caracterización físico-química de las muestras de agua residual procedentes de la etapa de pelambre y curtido, cuyos resultados indicaron la calidad del afluente y permitieron identificar los parámetros que se encontraban fuera del límite establecido por el TULSMA, Libro VI, Anexo 1. Tabla 8, siendo para el agua de pelambre los siguientes resultados: DQO 17555 mg/L, DBO₅ 12557 mg/L, sulfuros 890,7 mg/L, sulfatos 1260,3 mg/L, sólidos totales 4939,7 mg/L y sedimentables 43 mL/L y pH 12,27; para agua de curtido se obtuvo los valores siguientes: pH 3,97, DQO 6200 mg/L, DBO₅ 2353,3 mg/L, cromo hexavalente 0,67 mg/L, cromo total 704,47 mg/L sólidos totales 2802 mg/L y suspendidos 1240 mg/L.
- ✓ Una vez identificado los parámetros fuera de norma y conforme al índice de biodegradabilidad se seleccionó el tipo de tratamiento más idóneo para cada agua en específico, arrojando los siguientes valores: para el agua de pelambre de 0,72 (biodegradable), siendo ideal la combinación de los tratamientos biológico (aireación) y físico-químico (coagulación-floculación mediante el test de jarras y sedimentación), mientras que para el agua de curtido dio un valor de 0,38 (poco biodegradable) optando por el tratamiento físico-químico (precipitación química, coagulación-floculación y sedimentación).
- ✓ Se determinaron las principales variables y flujos que influyen en el sistema de tratamiento del agua residual los mismos que fueron identificadas tales como: el caudal de diseño, dosificación de coagulante y floculante y la velocidad de agitación.
- ✓ Se realizó los respectivos cálculos de ingeniería necesarios para el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales de la curtiduría San Isidro, la planta está conformada por un canal de entrada de sección rectangular y un sistema de rejillas de limpieza manual para agua de pelambre y curtido respectivamente, un tanque de aireación, un sedimentador circular de tipo cónico, un tanque homogenizador y de almacenamiento y un lecho de secado.
- ✓ El diseño propuesto del sistema de tratamiento del agua residual para la curtiduría San Isidro se validó mediante la caracterización físico-química del agua tratada conforme a la normativa ambiental vigente TULSMA, Libro VI, Anexo 1. Tabla 8, comprobándose la remoción de los siguientes parámetros, para agua de pelambre se obtuvo: color 92,2%, turbiedad 98,2%, sólidos totales 91,9%, sólidos suspendidos totales 91,6%, sólidos disueltos totales 80,4%, sulfuros 96,2%, sulfatos 82%, DQO 94,7% y DBO₅ 95,8%; para agua de curtido: color 97,6%, turbiedad 99,8%, sólidos suspendidos 98,6%, sólidos disueltos totales 99,2%, sólidos totales 99,2%, cromo hexavalente 99,0%, cromo total 93,4%, DQO 86,4%, DBO₅ 94,6%.

RECOMENDACIONES

- ✓ Implementar el sistema de tratamiento propuesto, puesto que evitará la contaminación directa al sistema de alcantarillado, además de sanciones económicas realizada por los organismos de control así como el Ministerio del Ambiente.
- ✓ Socializar y capacitar a los trabajadores, de manera particular a la persona encargada sobre el funcionamiento y la correcta operación de la planta de tratamiento de aguas residuales.
- ✓ Realizar la caracterización físico-química del agua residual periódicamente, de manera que permita mantener un control y monitoreo adecuado sobre la calidad del afluente, logrando así cumplir con la normativa ambiental vigente y contribuir con el medio ambiente.
- ✓ Previo a la dosificación de químicos es necesario controlar la descarga en base al volumen del agua residual generado, puesto que de esta variable depende la eficiencia del proceso y la remoción de los contaminantes.
- ✓ Efectuar el mantenimiento a los equipos de manera periódica y el sistema en general de la planta de tratamiento, de modo que se consiga el correcto funcionamiento de los mismos evitando presentar inconvenientes al momento de descargar hacia el sistema de alcantarillado.
- ✓ Realizar investigaciones sobre estrategias relacionadas a las buenas prácticas ambientales y operativas y el uso de tecnologías sostenibles en el que intervengan productos de origen natural tales como taninos vegetales para la curtición en reemplazo de sales de cromo.
- ✓ Ejecutar un estudio para la recuperación de cromo, reuso de baños residuales generados en los diferentes procesos de curtiembre, permitiendo beneficiar económica, social y ambientalmente a la microempresa.

GLOSARIO

<i>cm</i>	Centímetros
$^{\circ}\text{C}$	Grados centígrados
<i>g</i>	Gramos
<i>h</i>	Horas
<i>kg</i>	Kilogramos
<i>L</i>	Litros
<i>mg</i>	Miligramos
<i>mL</i>	Mililitros
<i>mS</i>	Milisiemens
<i>min</i>	Minutos
<i>m</i>	Metros
m^2	Metros cuadrados
m^3	Metros cúbicos
M_1	Muestra 1
M_2	Muestra 2
M_3	Muestra 3
<i>pH</i>	Potencial de hidrógeno
<i>Q</i>	Caudal
<i>s</i>	Segundos
STAR	Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales
TULSMA	Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente

BIBLIOGRAFÍA

ABRAMOVICH, Beatriz; et al. *Cloruro férrico para la coagulación optimizada y remoción de enteroparásitos en agua*. [En línea] 2009. p3. [Consulta: 27 de junio 2019]. Disponible en: <http://revistas.unlp.edu.ar/index.php/domus/issue/current/>.

AMAGANDI AGUILAR, Gladys Verónica. Rediseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Curtiembre Quisapincha, Provincia de Tungurahua. [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuel Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2016. pp. 30-36. [Consulta: 2019-05-08]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6474/1/96T00351.pdf>.

ARZE, Carlos; et al. *Guía Técnica de Producción más Limpia para Curtiembres*. [En línea] 02 de 2003. [Consulta: 09 de julio 2019]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/291333001>.

BEDOYA, Juan; et al. *Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial en el tratamiento de las aguas residuales generadas en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia*. [En línea] 2014. [Consulta: 30 de julio 2019]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/370/370315220004.pdf>.

ACEVEDO, HERVIS; et al. *Biodegradabilidad de las diferentes fracciones de agua residual producidas en una ternería*. Bogotá: sn, 2011, Vol 21-2.

BRANDT A VARCO COMPANY. *Manual de Tratamiento de Agua Residuales y Aguas Negras*. 2001. pp. 1-68.

BUSTOS, I. Diseño del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de las Etapas de Ribera y Curtido para la Ternería San José. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuel Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2012. pp. 33-36. [Consulta: 2019-05-08]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2025/1/96T00167.pdf>.

CINÉTICA QUÍMICA. *Policloruro de aluminio*. [En línea] [Consulta: 2019-06-27]. Disponible en: <https://policlorurodealuminio.com>.

CRITES, R, & TCHOBANOGLIOUS, G. *Tratamiento de Aguas Residuales en Poblaciones Pequeñas*. [En línea] 01 de 09 de 2000. [Consulta: 26 de 08 de 2019.]. Disponible en: <https://www.amazon.com/Tratamiento-Aguas-Residuales-Spanish-Crites/dp/9584100424>.

CRUZ, L. *Optimización de la aplicación de lodos de depuración de aguas residuales al abonado o mejora de suelos*. [En línea] 11 de 2015. [Consulta: 19 de 04 de 2018.]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=116351>.

CUERONET. *Flujograma del proceso del cuero: Acondicionado*. [En línea] [Consulta: 23 de 05 de 2019.]. Disponible en: www.biblioteca.org.ar.

DIFSA. *Materiales filtrantes para agua*. [En línea] 2019. [Consulta: 28 de 08 de 2019.]. Disponible en: <https://www.filtrosparagua.com/materiales-filtrantes-para-agua.php>.

DPURA. *Materiales filtrantes*. [En línea] [Consulta: 28 de 08 de 2019.]. Disponible en: <http://www.h2osoluciones.com/materiales-filtrantes.html>.

EL COMERCIO. *Radiografía económica de la provincia de Tungurahua*. [En línea] 29 de 03 de 2018. [Consulta: 07 de 05 de 2019.]. Disponible en: <https://www.elcomercio.com>.

ELIZALDE MOSQUERA, Marlon Marcelo. Diseño de una planta de tratamiento de agua potable en el sitio la florida con presencia de turbiedad y coliformes [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador. 2015. pp. 19-29. [Consulta: 2019-09-02]. Disponible en: http://repositorio.utmachala.edu.ec/bistream/48000/4974/1/TTUAIC_2015_IC_CD0034.pdf.

ESTRADA , G. *Manual de hidráulica de canales*. [En línea] 05 de 02 de 2013. [Consulta: 26 de 07 de 2019.]. Disponible en: http://fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2013/02/05/Manual_de_Hidraulica_de_Canales.pdf.

FAO. *Estructuras de conducción del agua-Fao*. [En línea] [Consulta: 19 de 08 de 2019.]. Disponible en: http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6708.htm.

LOZANO, W. *Fundamentos de diseño de plantas depuradoras de aguas residuales*. Bogotá-Colombia : s.n., 2012.

GEANKOPLIS, C. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. Tercera Edición. México : Continental, S.A. DE C.V. México, 1998, pp. 545-558.

GONZÁLEZ, P. *Plantas de Tratamiento de Aguas*. Madrid : s.n., 2013.

HACH COMPANY. *Manual de análisis de agua*. [En línea] 2000. [Consulta: 10 de 06 de 2019.]. Disponible en: <file:///C:/Users/usuario/Downloads/Water%20Analysis%20Manual-Spanish Manual%20de%20Análisis%20de%20Agua.pdf>.

JORDÁN NÚÑEZ, Mario Fabián. Obtención de colágeno por hidrólisis alcalina-enzimática del residuo de "wet blue" en el proceso de curtición [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2011. pp.16-25. [Consulta: 2019-08-26]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1630/1/236T0048.pdf>

LOMBEIDA ROJAS, Lenín Vinicio. Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para una Empresa de Curtiembre [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador. 2017. pp.22-38. [Consulta: 2019-05-06]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/9724/1/T-UCE-0008-Q001-2017.pdf>.

MARÍN, R. *Procesos Fisicoquímicos en Depuración de Aguas*. Díaz de Santos. España : s.n., 2012.

MCCABE, Warren; et al. *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. España : Mc Graw-Hill, 1998, pp. 242-257.

METCALF & Eddy. *Ingeniería de Aguas Residuales, tratamiento, vertido y reutilización*. España : s.n., 1995. Vol. I.

MINISTERIO DEL AMBIENTE ECUADOR. *Registro oficial TULSMA*. Quito : Lexis, 2015, pp. 21-22. [Consulta: 2019-05-06]. Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/2018/05/TULSMA.pdf>

MOYA VALLEJO, Juan Pablo. Diseño de un sistema de tratamiento de agua de descarga de la Curtiembre San Vicente, Provincia de Tungurahua [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2016. pp.12-46. [Consulta:

2019-05-06]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/6457/1/96T00345.pdf>.

OCHOA, V, y otros. *Remoción de contaminantes de aguas residuales del procesamiento de pieles mediante un mezclador de mezcla controlada*. [En línea] 2017. [Consulta: 24 de 05 de 2019.]. Disponible en: <https://www.researchgate.net>.

PÉREZ, J. *Filtración en medios granulares*. [En línea] [Consulta: 28 de 08 de 2019.]. Disponible en: <http://www.geocities.ws/edrochac/sanitaria/filtracion4.pdf>.

RIGOLA LAPEÑA, Miguel. *Tratamiento de Aguas Industriales: Agua de Procesos y Residuales*. Barcelona - España. Editorial Marcombo S.A, 2005. pp. 137-141.

ROMERO ROJAS, Jairo. *Purificación del agua*. 2^{da} edición. Colombia : Escuela Colombiana de Ingeniería, 2006. pp. 218-252.

SANIPATÍN. *Guía para el control y prevención de la contaminación industrial*. Lima : SN, 2015. ISBN 845.

SANZ. *Identificación de impactos ambientales en altas concentraciones de sulfuro en el proceso de pelambre*. Bogotá : UNT, 2011. ISBN 154.

SEPULVEDA MANCIPE, Belquis Briceida, & SIERRA MESA, Javier Alexander. Guía y herramienta computacional para el diseño hidráulico de un sistema de tratamiento preliminar (cribado y desarenador) de aguas residuales [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá, Colombia. 2017. pp.8-15. [Consulta: 2019-09-23].
Disponible en: <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/564/3/SierraMesa%2CJavierALEXANDER-2017.pdf>.

SEVERICHE, Carlos; et al. *Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros Físicoquímicos Básicos en Aguas*. [En línea] 2013. [Consulta: 10 de 06 de 2019.]. Disponible en: <http://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/1326.pdf>.

SOTELO, G. *Hidráulica de canales*. [En línea] 2002. [Consulta: 14 de 08 de 2019.]. Disponible en: <file:///C:/Users/usuario/Downloads/hidraulica%20de%20canales-%20sotelo%20avila.pdf>

SUÁREZ, Joaquín; et al. *Filtración en medio granular (FT-TER-002)*. [En línea] 2014. [Consulta: 27 de 08 de 2019]. Disponible en: <https://www.wateractionplan.com/documents/177327/558161/Filtración+en+medio+granular.pdf>.

UNATSABAR. *Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores*. [En línea] 2005. [Consulta: 24 de 08 de 2019.]. Disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/tecapro/documentos/agua/158esp-diseño-desare.pdf>

WEITZENDELD. *Identificación de impactos ambientales*. Buenos Aires : Adventure Works, 2016. ISBN 145.

ANEXOS

Anexo A: TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Tabla 8.

TABLA 8. LÍMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PÚBLICO			
Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sust. solubles en hexano	mg/l	70,0
Explosivos o inflamables	Sustancias	mg/l	Cero
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	1,0
Cinc	Zn	mg/l	10,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo	mg/l	0,1
Cobalto total	Co	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Cromo Hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	250,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	500,0
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Fósforo Total	P	mg/l	15,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Hierro total	Fe	mg/l	25,0
Manganeso total	Mn	mg/l	10,0
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	60,0
Organofosforados	Especies Totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,5
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,5
Sólidos Sedimentables	SD	ml/l	20,0
Sólidos Suspendedos Totales	SST	mg/l	220,0
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600,0
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	400,0
Sulfuros	S	mg/l	1,0
Temperatura	°C		< 40,0
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	2,0
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0

Anexo B: Caracterización inicial del agua residual de pelambre. Muestra 01



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA
FACULTAD DE CIENCIAS**

Casilla 06-01-4703

Telefax:

2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Buenaño Pico Jennifer Jannina

Fecha de Análisis: 04 /05/2019

Tipo de muestras: Agua Residual de Pelambre, Industria Curtiduría San Isidro.

Localidad: Cantón Riobamba - Provincia de Chimborazo.

Numero de muestra: 1

TRABAJO DE TITULACION

Parámetro	Método	Unidad	Límite máximo permisible	Resultados de la caracterización
Análisis Físico				
Temperatura	2510-B	°C	<40	21
Color	-	Unidades de Pt/Co	-	311
pH	4500-B	-	5-9	12,30
Turbiedad		NTU	-	3420
Conductividad	2510-B	mS/cm	-	6,84
Sólidos Suspendidos Totales	-	mg/L	220	1056
Sólidos sedimentables	2540-B	mL/L	20	44
Sólidos totales	2540-A	mg/L	1600	5422
Análisis Químico				
Sulfuros (S)	4500-S-2-E	mg/L	1,0	863
Sulfatos (SO_4^{-2})	4500-SO4-E	mg/L	400	1342
Salinidad	-	g/L	-	1,88
DQO	5220-C	mg/L	500	19300
DBO ₅ (5 días)	5210-B	mg/L	250	15634

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

**TULSMA. Libro VI, Anexo 1, Tabla 8

Observaciones:

Atentamente.

Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA

Anexo C: Caracterización inicial del agua residual de pelambre. Muestra 02



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA
FACULTAD DE CIENCIAS**

Casilla 06-01-4703

Telefax:

2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Buenaño Pico Jennifer Jannina

Fecha de Análisis: 13/06/2019

Tipo de muestras: Agua Residual de Pelambre, Industria Curtiduría San Isidro.

Localidad: Cantón Riobamba - Provincia de Chimborazo.

Numero de muestra: 2

TRABAJO DE TITULACION

Parámetro	Método	Unidad	Límite máximo permisible	Resultados de la caracterización
Análisis Físico				
Temperatura	2510-B	°C	<40	22
Color	-	Unidades de Pt/Co	-	352
pH	4500-B	-	5-9	12,53
Turbiedad		NTU	-	4200
Conductividad	2510-B	mS/cm	-	8,40
Sólidos Suspendidos Totales	-	mg/L	220	1256
Sólidos sedimentables	2540-B	mL/L	20	39
Sólidos totales	2540-A	mg/L	1600	4265
Análisis Químico				
Sulfuros (S)	4500-S-2-E	mg/L	1,0	915
Sulfatos (SO_4^{-2})	4500-SO4-E	mg/L	400	1254
Salinidad	-	g/L	-	2,03
DQO	5220-C	mg/L	500	17142
DBO ₅ (5 días)	5210-B	mg/L	250	12451

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

**TULSMA Libro VI, Anexo 1, Tabla 8

Observaciones:

Atentamente.

Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA

Anexo D: Caracterización inicial del agua residual de pelambre. Muestra 03



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA
FACULTAD DE CIENCIAS**

Casilla 06-01-4703

Telefax:

2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Buenaño Pico Jennifer Jannina

Fecha de Análisis: 24/06/2019

Tipo de muestras: Agua Residual de Pelambre, Industria Curtiduría San Isidro.

Localidad: Cantón Riobamba - Provincia de Chimborazo.

Numero de muestra: 3

TRABAJO DE TITULACION

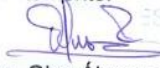
Parámetro	Método	Unidad	Límite máximo permisible	Resultados de la caracterización
Análisis Físico				
Temperatura	2510-B	°C	<40	19,5
Color	-	Unidades de Pt/Co	-	295
pH	4500-B	-	5-9	11,98
Turbiedad		NTU	-	2947
Conductividad	2510-B	mS/cm	-	6,00
Sólidos Suspendidos Totales	-	mg/L	220	1149
Sólidos sedimentables	2540-B	mL/L	20	46
Sólidos totales	2540-A	mg/L	1600	5132
Análisis Químico				
Sulfuros (S)	4500-S-2-E	mg/L	1,0	894
Sulfatos (SO_4^{-2})	4500-SO4-E	mg/L	400	1185
Salinidad	-	g/L	-	1,90
DQO	5220-C	mg/L	500	16223
DBO ₅ (5 días)	5210-B	mg/L	250	9586

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

**TULSMA Libro VI, Anexo 1, Tabla 8

Observaciones:

Atentamente.


Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA



Anexo E: Caracterización inicial del agua residual de curtido. Muestra 01



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA

FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Buenaño Pico Jennifer Jannina

Fecha de Análisis: 03/04/2019

Tipo de muestras: Agua Residual de Curtido, Industria Curtiduría San Isidro.

Localidad: Cantón Riobamba - Provincia de Chimborazo.

Numero de muestra: 1

TRABAJO DE TITULACION

Parametro	Método	Unidad	Límite máximo permisible	Resultado de la caracterización
Análisis Físico				
Temperatura	2510-B	°C	<40	29
Color	-	Unidades de Pt/Co	-	1502
pH	4500-B	-	5-9	3,75
Turbiedad	2130-B	NTU	-	1452
Conductividad	2510-B	mS/cm	-	5,09
Densidad	kg/m ³		1395,4	1395,4
Sólidos Suspendidos Totales	-	mg/L	220	1640
Sólidos sedimentables	2540-B	ml/L	20	80
Sólidos totales	2540-A	mg/L	1600	2540
Análisis Químico				
Cromo total	3500-CrB	mg/L	-	1739,84
Cromo hexavalente	3500-CrB	mg/L	0.5	0,42
Salinidad	-	g/L	-	2,5
DQO	5220-C	mg/L	500	9700
DBO ₅ (5 días)	5210-B	mg/L	250	2800

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

**TULSMA Libro VI, Anexo 1, Tabla 8

Observaciones:

Atentamente.

Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA



Anexo F: Caracterización inicial del agua residual de curtido. Muestra 02



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA

FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Buenaño Pico Jennifer Jannina

Fecha de Análisis: 25/04/2019

Tipo de muestras: Agua Residual de Curtido, Industria Curtiduría San Isidro.

Localidad: Cantón Riobamba - Provincia de Chimborazo.

Numero de muestra: 2

TRABAJO DE TITULACION

Parámetro	Método	Unidad	Límite máximo permisible	Resultado de la caracterización
Análisis Físico				
Temperatura	2510-B	°C	<40	24,3
Color	-	Unidades de Pt/Co	-	1380
pH	4500-B	-	5-9	3,92
Turbiedad	2130-B	NTU	-	1800
Conductividad	2510-B	mS/cm	-	2,28
Densidad	-	kg/m ³	1395,4	1023
Sólidos Suspendidos Totales	-	mg/L	220	937
Sólidos sedimentables	2540-B	mL/L	20	65
Sólidos totales	2540-A	mg/L	1600	2840
Análisis Químico				
Cromo total	3500-CrB	mg/L	-	232,50
Cromo hexavalente	3500-CrB	mg/L	0.5	0,83
Salinidad	-	g/L	-	1,1
DQO	5220-C	mg/L	500	3500
DBO ₅ (5 días)	5210-B	mg/L	250	1600

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

**TULSMA Libro VI, Anexo 1, Tabla 8

Observaciones:

Atentamente.

Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA

Anexo G: Caracterización inicial del agua residual de curtido. Muestra 03



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA

FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Buenaño Pico Jennifer Jannina

Fecha de Análisis: 08/05/2019

Tipo de muestras: Agua Residual de Curtido, Industria Curtiduría San Isidro.

Localidad: Cantón Riobamba - Provincia de Chimborazo.

Numero de muestra: 3

TRABAJO DE TITULACION

Parámetro	Método	Unidad	Límite máximo permisible	Resultado de la caracterización
Análisis Físico				
Temperatura	2510-B	°C	<40	25,6
Color	-	Unidades de Pt/Co	-	1480
pH	4500-B	-	5-9	4,2 4
Turbiedad	2130-B	NTU	-	2270
Conductividad	2510-B	mS/cm	-	2,97
Densidad	-	kg/m ³	1395,4	1037,4
Sólidos Suspendidos Totales	-	mg/L	220	1143
Sólidos sedimentables	2540-B	mL/L	20	60
Sólidos totales	2540-A	mg/L	1600	3026
Análisis Químico				
Cromo total	3500-CrB	mg/L	-	141,09
Cromo hexavalente	3500-CrB	mg/L	0.5	0,76
Salinidad	-	g/L	-	1,5
DQO	5220-C	mg/L	500	5400
DBO ₅ (5 días)	5210-B	mg/L	250	2660

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

**TULSMA Libro VI, Anexo 1, Tabla 8

Observaciones:

Atentamente.

Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA

Anexo H: Fulones de pelambre y curtido y muestra de afluente recolectada

a.



b.



c.



NOTAS		CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Jennifer Buenaño	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIDURÍA SAN ISIDRO DE LA CIUDAD DE AMBATO		
a.	Fulón de pelambre.	Certificado Aprobado Por aprobar	Por eliminar		ESCALA	FECHA	LÁMINA
b.	Fulón de curtido.		Por aprobar		1:1	2019-12-17	1
c.	Muestra de afluente		Información				

Anexo I: Determinación de sólidos sedimentables y sulfuros, productos químicos utilizados

d.



e.



f.



NOTAS		CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		<div>ESPOCH</div> <div>FACULTAD DE CIENCIAS</div> <div>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</div> <div>Jennifer Buenaño</div>	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIDURÍA SAN ISIDRO DE LA CIUDAD DE AMBATO		
d. Análisis de sólidos sedimentables		Certificado	Por eliminar		ESCALA	FECHA	LÁMINA
e. Determinación de sulfuros.		Aprobado	Por aprobar		1:1	2019-12-17	2
f. Coagulantes empleados.		Por aprobar	Información				

Anexo J: Caracterización del agua residual tratada de pelambre. Muestra 01



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA
FACULTAD DE CIENCIAS**

Casilla 06-01-4703

Telefax:

2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Buenaño Pico Jennifer Jannina

Fecha de Análisis: 21/05/2019

Tipo de muestras: Agua Residual Tratada de Pelambre, Industria Curtiduría San Isidro.

Localidad: Cantón Riobamba - Provincia de Chimborazo.

Numero de muestra: 1

TRABAJO DE TITULACION

Parámetro	Método	Unidad	Límite máximo permisible	Resultado de la caracterización
Análisis Físico				
Temperatura	2510-B	°C	<40	20
Color	-	Unidades de Pt/Co	-	24
pH	4500-B	-	5-9	8,35
Turbiedad	2130-B	NTU	-	67
Sólidos Suspendidos Totales	-	mg/L	220	162
Sólidos sedimentables	2540-B	mL/L	20	8
Sólidos totales	2540-A	mg/L	1600	958
Análisis Químico				
Sulfuros (S)	4500-S-2-E	mg/L	1,0	29
Sulfatos (SO_4^{-2})	4500-SO4-E	mg/L	400	297
DQO	5220-C	mg/L	500	1230
DBO ₅ (5 días)	5210-B	mg/L	250	745

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

**TULSMA Libro VI, Anexo 1, Tabla 8

Observaciones:

Atentamente.

Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA



Anexo K: Caracterización del agua residual tratada de pelambre. Muestra 02



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA
FACULTAD DE CIENCIAS**

Casilla 06-01-4703

Telefax:

2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Buenaño Pico Jennifer Jannina

Fecha de Análisis: 19 /06/2019

Tipo de muestras: Agua Residual Tratada de Pelambre, Industria Curtiduría San Isidro.

Localidad: Cantón Riobamba - Provincia de Chimborazo.

Numero de muestra: 2

TRABAJO DE TITULACION

Parámetro	Método	Unidad	Límite máximo permisible	Resultado de la caracterización
Análisis Físico				
Temperatura	2510-B	°C	<40	20,5
Color	-	Unidades de Pt/Co	-	36
pH	4500-B	-	5-9	8,25
Turbiedad	2130-B	NTU	-	84
Sólidos Suspendidos Totales	-	mg/L	220	143
Sólidos sedimentables	2540-B	mL/L	20	6
Sólidos totales	2540-A	mg/L	1600	815
Análisis Químico				
Sulfuros (S)	4500-S-2-E	mg/L	1,0	43
Sulfatos (SO_4^{-2})	4500-SO4-E	mg/L	400	252
DQO	5220-C	mg/L	500	968
DBO ₅ (5 días)	5210-B	mg/L	250	563

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

**TULSMA Libro VI, Anexo 1, Tabla 8

Observaciones:

Atentamente.

Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA



Anexo L: Caracterización del agua residual tratada de pelambre. Muestra 03



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA
FACULTAD DE CIENCIAS**

Casilla 06-01-4703

Telefax:

2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Buenaño Pico Jennifer Jannina

Fecha de Análisis: 28/06/2019

Tipo de muestras: Agua Residual Tratada de Pelambre, Industria Curtiduría San Isidro.

Localidad: Cantón Riobamba - Provincia de Chimborazo.

Numero de muestra: 3

TRABAJO DE TITULACION


Parámetro	Método	Unidad	Límite máximo permisible	Resultado de la caracterización
Análisis Físico				
Temperatura	2510-B	°C	<40	19
Color	-	Unidades de Pt/Co	-	23
pH	4500-B	-	5-9	8,17
Turbiedad	2130-B	NTU	-	53
Sólidos Suspendidos Totales	-	mg/L	220	96
Sólidos sedimentables	2540-B	mL/L	20	9
Sólidos totales	2540-A	mg/L	1600	928
Análisis Químico				
Sulfuros (S)	4500-S-2-E	mg/L	1,0	34
Sulfatos (SO_4^{-2})	4500-SO4-E	mg/L	400	213
DQO	5220-C	mg/L	500	854
DBO ₅ (5 días)	5210-B	mg/L	250	398

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

**TULSMA Libro VI, Anexo 1, Tabla 8

Observaciones:

Atentamente.


Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA



Anexo M: Caracterización del agua residual tratada de curtido. Muestra 01



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA
FACULTAD DE CIENCIAS**

Casilla 06-01-4703

Telefax:

2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Buenaño Pico Jennifer Jannina

Fecha de Análisis: 12/04/2019

Tipo de muestras: Agua Residual Tratada de Curtido, Industria Curtiduría San Isidro.

Localidad: Cantón Riobamba - Provincia de Chimborazo.

Numero de muestra: 1

TRABAJO DE TITULACION

Parámetro	Método	Unidad	Límite máximo permisible	Resultado de la caracterización
Análisis Físico				
Temperatura	2510-B	°C	<40	20
Color	-	Unidades de Pt/Co	-	80
pH	4500-B	-	5-9	6,4
Turbiedad	2130-B	NTU	-	1,56
Densidad	-	kg/m³		1087
Sólidos Suspendidos Totales	-	mg/L	220	5
Sólidos sedimentables	2540-B	mL/L	20	0,85
Sólidos totales	2540-A	mg/L	1600	25,27
Análisis Químico				
Cromo Total	3500-CrB	mg/L	-	14,05
Cromo hexavalente	3500-CrB	mg/L	0,5	0,027
DQO	5220-C	mg/L	500	1420
DBO ₅ (5 días)	5210-B	mg/L	250	320

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

**TULSMA Libro VI, Anexo 1, Tabla 8

Observaciones:

Atentamente.

Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA



Anexo N: Caracterización del agua residual tratada de curtido. Muestra 02



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA
FACULTAD DE CIENCIAS**

Casilla 06-01-4703

Telefax:

2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Buenaño Pico Jennifer Jannina

Fecha de Análisis: 03/05/2019

Tipo de muestras: Agua Residual Tratada de Curtido, Industria Curtiduría San Isidro.

Localidad: Cantón Riobamba - Provincia de Chimborazo.

Numero de muestra: 2

TRABAJO DE TITULACION

Parámetro	Método	Unidad	Límite máximo permisible	Resultado de la caracterización
Análisis Físico				
Temperatura	2510-B	°C	<40	20,5
Color	-	Unidades de Pt/Co	-	35
pH	4500-B	-	5-9	5,90
Turbiedad	2130-B	NTU	-	0,35
Densidad	-	kg/m ³		1059,64
Sólidos Suspendidos Totales	-	mg/L	220	3
Sólidos sedimentables	2540-B	mL/L	20	0,57
Sólidos totales	2540-A	mg/L	1600	25,24
Análisis Químico				
Cromo Total	3500-CrB	mg/L	-	11,45
Cromo hexavalente	3500-CrB	mg/L	0.5	0,013
DQO	5220-C	mg/L	500	930
DBO ₅ (5 días)	5210-B	mg/L	250	290

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

**TULSMA Libro VI, Anexo 1, Tabla 8

Observaciones:

Atentamente.

Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA



Anexo O: Caracterización del agua residual tratada de curtido. Muestra 03



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA
FACULTAD DE CIENCIAS**

Casilla 06-01-4703 Telefax:
2998 200 ext 332 Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Buenaño Pico Jennifer Jannina

Fecha de Análisis: 17/05/2019

Tipo de muestras: Agua Residual Tratada de Curtido, Industria Curtiduría San Isidro.

Localidad: Cantón Riobamba - Provincia de Chimborazo.

Numero de muestra: 3

TRABAJO DE TITULACION

Parámetro	Método	Unidad	Límite máximo permisible	Resultado de la caracterización
Análisis Físico				
Temperatura	2510-B	°C	<40	21
Color	-	Unidades de Pt/Co	-	35
pH	4500-B	-	5-9	6,01
Turbiedad	2130-B	NTU	-	2,75
Densidad	-	kg/m ³		1059,64
Sólidos Suspendidos Totales	-	mg/L	220	16
Sólidos sedimentables	2540-B	mL/L	20	0,49
Sólidos totales	2540-A	mg/L	1600	25,24
Análisis Químico				
Cromo Total	3500-CrB	mg/L	-	9,32
Cromo hexavalente	3500-CrB	mg/L	0.5	0,0078
DQO	5220-C	mg/L	500	736
DBO ₅ (5 días)	5210-B	mg/L	250	143

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

**TULSMA Libro VI, Anexo 1, Tabla 8

Observaciones:

Atentamente.

Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA



Anexo P: Caracterización de cromo total y hexavalente del agua residual tratada de curtido



LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES

Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación No. OAE LE C 12-006

Nº SE: 086-19



INFORME DE ANALISIS

NOMBRE: Jennifer Buenaño
EMPRESA: Proyecto de Tesis ESPOCH
DIRECCIÓN: Ambato - Totoras

INFORME Nº: 086- 19
Nº SE: 086 - 19

FECHA DE RECEPCIÓN: 31 - 05 - 19

TELÉFONO: 0995907682

FECHA DE INFORME: 05 - 06 - 19

NÚMERO DE MUESTRAS: 1, Agua residual tratada, Curtiduría

TIPO DE MUESTRA:

IDENTIFICACIÓN: MA - 177-19

Agua tratada

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.

RESULTADO DE ANÁLISIS

MA -177-19

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Cromo total	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	11,45	N/A	31 - 05 - 19
* Cromo hexavalente	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	0,013	N/A	31 - 05 - 19

MÉTODOS UTILIZADOS: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 22ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 22ª EDICIÓN.

RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara
Benito Mendoza T., Ph.D.


Dr. Juan Carlos Lara R.
TECNICO L.S.A.

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).
- Los ensayos marcados con (*) no se encuentran dentro del alcance de acreditación del SAE.
-Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

Página 1 de 1

FMC2101-01

L.S.A. Campus Máster Edison Riera Km 1 ½ vía a Guano Bloque Administrativo.

Anexo Q: Diagrama [PI & I] de la etapa de pelambre del S.T.A.R de la Curtiduría “San Isidro”

<div>SR-1</div> <div>Sistema de rejillas</div> <div>Área: 0,20 m²</div> <div>Nº barras: 19</div> <div>Separación entre barras: 0,015 m</div>		<div>TA</div> <div>Tanque de aireación</div> <div>Material: Hormigón armado</div> <div>Capacidad: 4,67 m³.</div>		<div>C</div> <div>Compresor de aire</div> <div>Caudal de aire: 7,81 m³/min.</div> <div>Potencia: 5 Hp</div>		<div>S</div> <div>Sedimentador</div> <div>Material:</div> <div>Capacidad: 3,9 m3.</div> <div>Capacidad: 4,022 m³.</div>		<div>LS</div> <div>Lecho de secado</div> <div>Material: Hormigón armado.</div> <div>Capacidad: 0,828 m³.</div> <div>Nº lechos: 2.</div>	
<div></div>								<div>TAT</div> <div>Tanque de agua tratada</div> <div>Material: Hormigón armado.</div> <div>Capacidad: 8,226 m³.</div>	
								<div>PAC</div> <div>Policloruro de aluminio</div>	
								<div>Mnso4</div> <div>Sulfato de manganeso</div>	
								<div>Lp y Lc</div> <div>Lodos de pelambre y curtido</div>	
								<div>V-1,2,3,4</div> <div>Válvula</div>	
								<div>B-1</div> <div>Bomba</div>	

NOTAS		CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Jennifer Buenaño		“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIDURÍA SAN ISIDRO DE LA CIUDAD DE AMBATO. ESCALA 1:1 FECHA 2019-12-17 LÁMINA 3		
AP: Agua de pelambre.		Certificado Por eliminar Aprobado Por calificar Por aprobar Información						

Anexo R: Diagrama [PI & I] de la etapa de curtido del S.T.A.R de la Curtiduría “San Isidro”

SR-2 Sistema de rejillas Área: 0,09 m ² N° barras: 11 Separación entre barras: 0,015 m		TH Tanque homogenizador Material: Hormigón armado Capacidad: 3,754 m ³ .	S Sedimentador Material: Capacidad: 3,9 m ³ .	TAT Tanque de agua tratada Material: Hormigón armado. Capacidad: 8,226 m ³ .	LS Lecho de secado Material: Hormigón armado. Capacidad: 0,828 m ³ . N° lechos: 2.
					PAC Policloruro de aluminio
					Cal P24
					B-1 Bomba
					Lp y Lc Lodos de pelambre y curtido
					V-2,3,4,5,6 Válvula
NOTAS		CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESPOCH	
AC: Agua de curtido.		Certificado	Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Jennifer Buenaño	
		Aprobado	Por calificar		
		Por aprobar	Información		
“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIDURÍA SAN ISIDRO DE LA CIUDAD DE AMBATO.					ESCALA
					1:1
					FECHA
					2019-12-17
					LÁMINA
					4

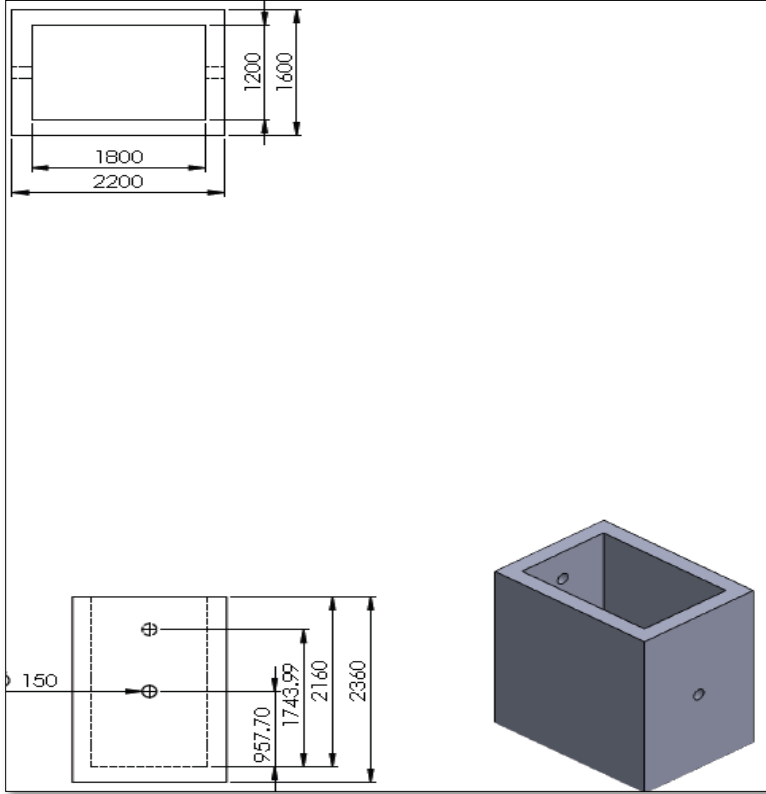
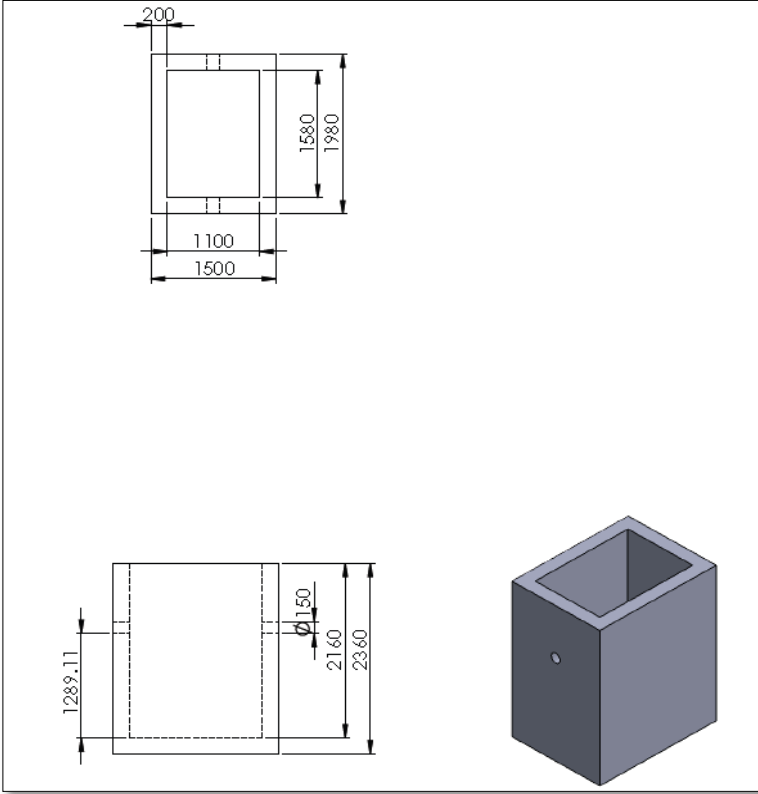
Anexo S: Diagrama [PI & I] e ingenieril del sistema de tratamiento de aguas residuales de la Curtiduría “San Isidro”

SR-1,2 Sistema de rejillas N° barras: 19/11 Separación entre barras: 0,015 m	TH Tanque homogenizador Material: Hormigón armado. Capacidad: 3,754 m ³ .	TA Tanque de aireación Material: Hormigón armado Capacidad: 4,67 m ³ .	C Compresor de aire Caudal de aire: 7,81 m ³ /min. Potencia: 5 Hp	S Sedimentador Material: Capacidad: 3,9 m3.	LS Lecho de secado Material: Hormigón armado. Capacidad: 0,828 m ³ . N° lechos: 2.
					TAT Tanque de agua tratada Material: Hormigón armado. Capacidad: 8,226 m ³ .
					PAC Policloruro de aluminio
					Mnso4 Sulfato de manganeso
					Cal P24
					B-1 Bomba
					Lp y Lc Lodos de pelambre y curtido
					V-1,2,3,4,5,6 Válvula
NOTAS AP: Agua de pelambre. AC: Agua de curtido	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA Certificado Por eliminar Aprobado Por calificar Por aprobar Información	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Jennifer Buenaño	“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIDURÍA SAN ISIDRO DE LA CIUDAD DE AMBATO.		
		ESCALA 1:1		FECHA 2019-12-17	LÁMINA 5

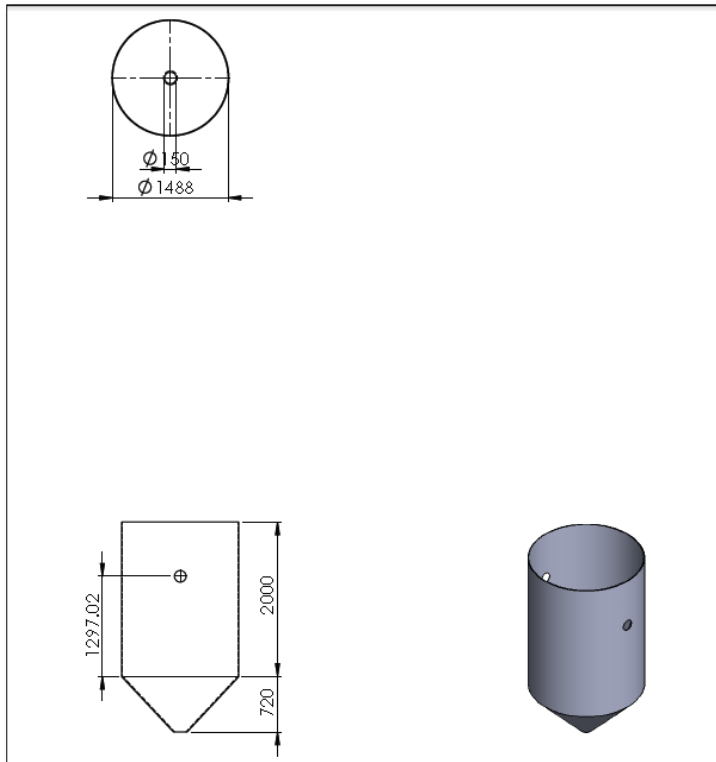
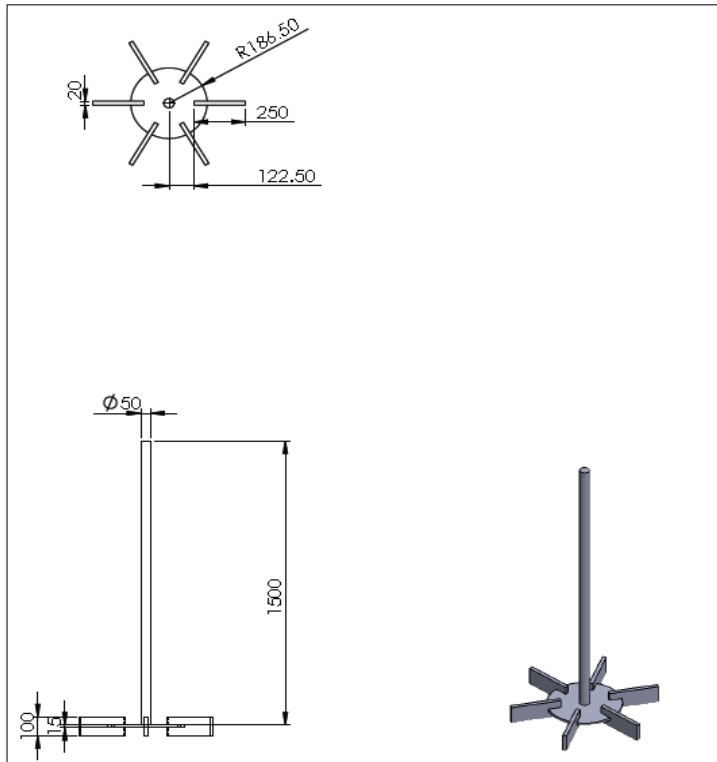
Anexo T: Canal de captación y sistema de rejillas para agua de pelambre

NOTAS		CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		<div>ESPOCH</div> <div>FACULTAD DE CIENCIAS</div> <div>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</div> <div>Jennifer Buenaño</div>	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIDURÍA SAN ISIDRO DE LA CIUDAD DE AMBATO		
	Certificado	Por eliminar			ESCALA	FECHA	LÁMINA
	Aprobado	Por aprobar			1:1	2019-12-17	6
	Por aprobar	Información					

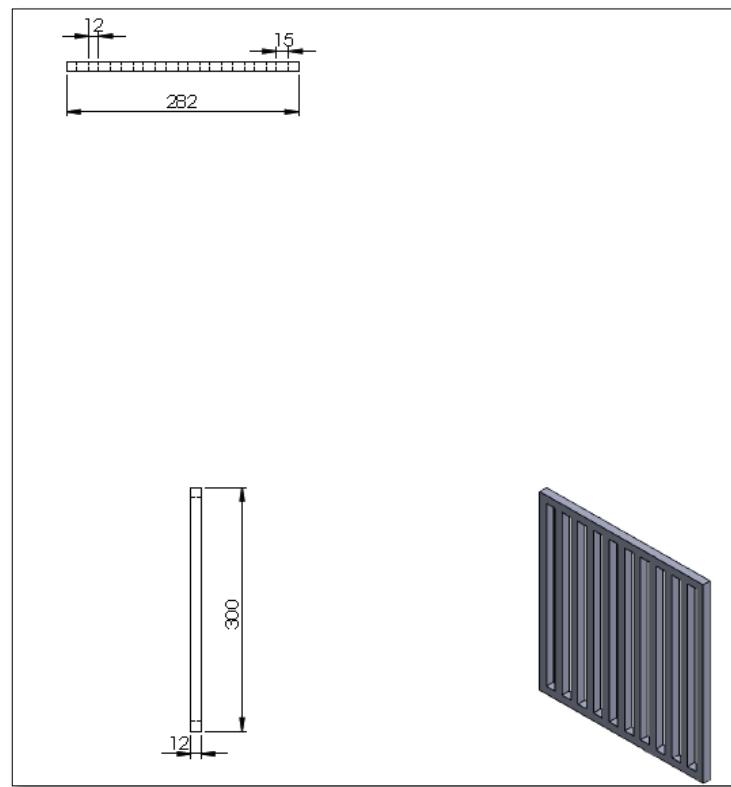
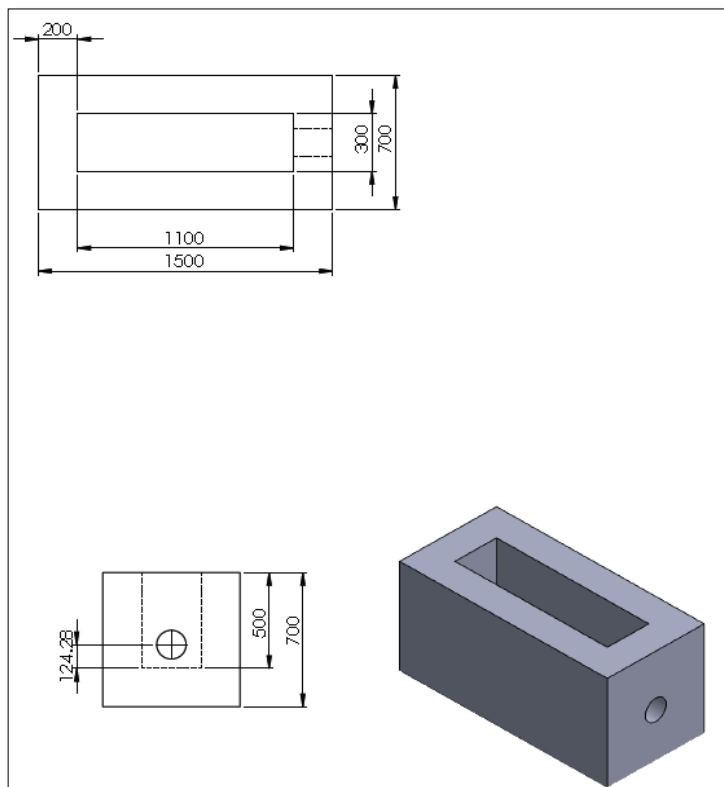
Anexo U: Tanque de aireación y de homogenización

					
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Jennifer Buenaño	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIDURÍA SAN ISIDRO DE LA CIUDAD DE AMBATO		
	Certificado Aprobado Por aprobar		Por eliminar Por aprobar Información	ESCALA	FECHA
			1:1	2019-12-17	7

Anexo V: Sedimentador y agitador tipo turbina de 6 palas planas

						
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Jennifer Buenaño	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIDURÍA SAN ISIDRO DE LA CIUDAD DE AMBATO			
	Certificado Aprobado Por aprobar		Por eliminar Por aprobar Información	ESCALA	FECHA	LÁMINA
				1:1	2019-12-17	8

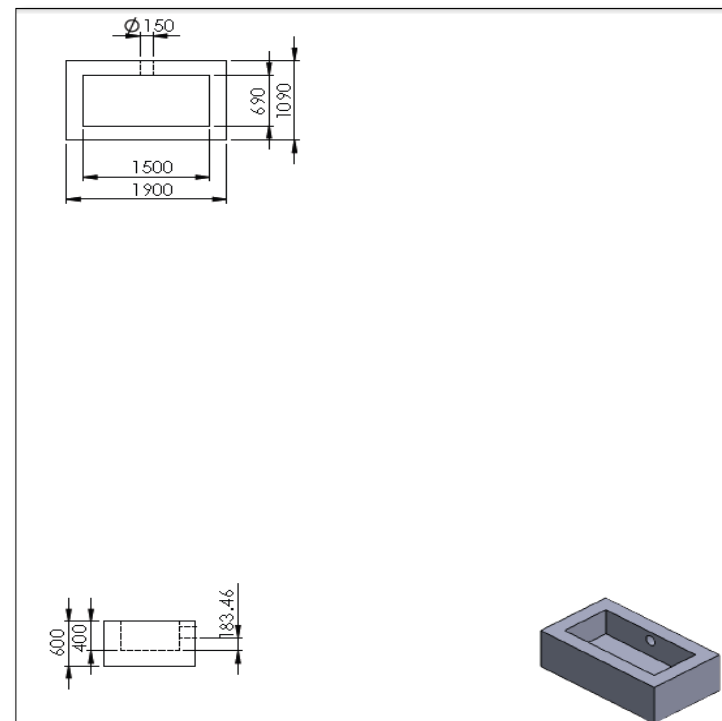
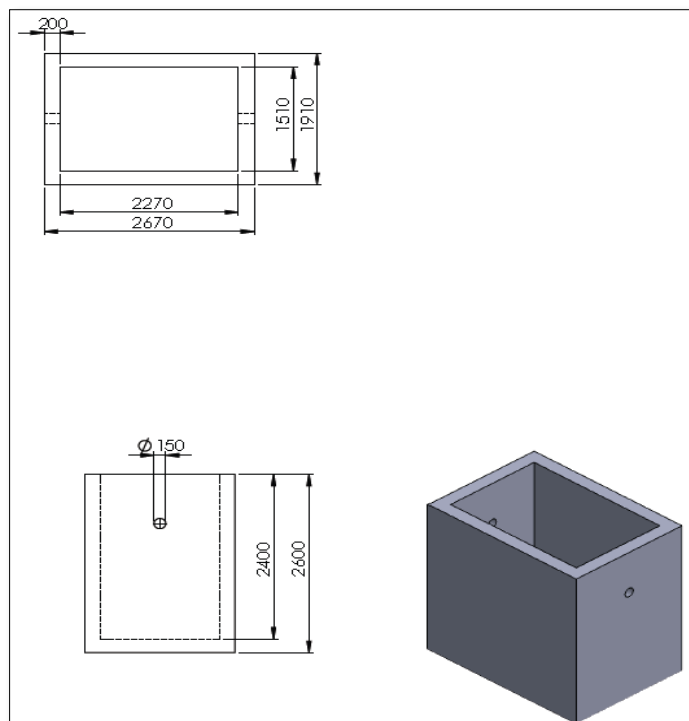
Anexo W: Canal de captación y sistema de rejillas para agua de curtido



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Jennifer Buenaño	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIDURÍA SAN ISIDRO DE LA CIUDAD DE AMBATO		
	Certificado	Por eliminar		ESCALA	FECHA	LÁMINA
	Aprobado	Por aprobar		1:1	2019-12-17	9
	Por aprobar	Información				

Jennifer Buenaño

Anexo X: Tanque de agua tratada y lecho de secado



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Jennifer Buenaño	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIDURÍA SAN ISIDRO DE LA CIUDAD DE AMBATO		
	Certificado	Por eliminar		ESCALA	FECHA	LÁMINA
	Aprobado	Por aprobar		1:1	2019-12-17	10
	Por aprobar	Información				

CURTIDURÍA "SAN ISIDRO"



Cell:096-058-7815

Ambato, 26 de Febrero de 2019

Doctor
Bolívar Flores H.
DIRECTOR- CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA
Presente.-

De mi consideración:

Atendiendo al oficio No. 245 IQ.FC.2019, mediante el cual NOS SOLICITAN SE CONCEDA EL AVAL PARA LA REALIZACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN "DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIDURÍA SAN ISIDRO DE LA CIUDAD DE AMBATO", dirigido por la Srta. Jennifer Jannina Buenaño Pico, portadora de la cédula de ciudadanía No. 180450062-5, estudiante de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química, por medio de la presente tengo a bien hacer conocer que su pedido cuenta con la autorización de la Sra. Ximena Ullauri, Gerente Propietario de la "Curtiembre San Isidro".

Por la favorable acogida, dejo en constancia mis sentimientos de alta consideración y estima.

Atentamente

Sra. Ximena Ullauri
ID.1801670694

GERENTE PROPIETARIO DE LA CURTIEMBRE SAN ISIDRO.

CURTIDURÍA "SAN ISIDRO"



Cell:096-058-7815

Ambato, 17 de Diciembre de 2019

Doctor
Bolívar Flores H.
DIRECTOR- CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA
Presente.-

De mi consideración:

Yo. Ximena Ullauri, Gerente Propietario de la "Curtiduría San Isidro". Me remito informar mi no asistencia a la defensa del trabajo de titulación de la Srta. Jennifer Jannina Buenaño Pico quien estuvo a cargo del proyecto **"DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIDURÍA SAN ISIDRO DE LA CIUDAD DE AMBATO"** el cual beneficia a las dos partes .

Por la favorable acogida, dejo en constancia mis sentimientos de alta consideración y estima.

Atentamente

Sra. Ximena Ullauri
ID.1801670694

GERENTE PROPIETARIO DE LA CURTIEMBRE SAN ISIDRO.

CURTIDURÍA "SAN ISIDRO"



Cell:096-058-7815

Ambato, 09 de Enero de 2020

CERTIFICADO

Que la Srta Jennifer Jannina Buenaño Pico con C.I 180450062-5, ha realizado la entrega del trabajo de Titulación y su correspondiente capacitación para el Tratamiento de las aguas residuales provenientes de la etapa de Pelambre y la etapa de Curtido, así como el manejo e implementación de los equipos de seguridad personal, y disposición final de los residuos.

Atentamente

Sra. Ximena Ullauri
ID.1801670694

GERENTE PROPIETARIO DE LA CURTIEMBRE SAN ISIDRO.

Capacitación del manejo adecuado de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Curtiduría San Isidro en la Ciudad de Ambato.

Nombre	Cargo	Fecha	Firma

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS PARA

EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 01/15/2020

INFORMACIÓN DEL AUTOR:
Nombres-Apellidos: Jennifer Jannina Buenaño Pico
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL:
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Química
Título a optar: Ingeniera Química
f. Documentalista responsable: